



BRIN

BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL



PENGANUGERAHAN **HABIBIE PRIZE**

Penghargaan Habibie Periode XXIII Tahun 2021

Jakarta, 17 November 2021



PENGANUGERAHAN **HABIBIE PRIZE**

Penghargaan Habibie Periode XXIII Tahun 2021

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

All Rights Reserved



PENGANUGERAHAN **HABIBIE PRIZE**

Penghargaan Habibie Periode XXIII Tahun 2021
Jakarta, 17 November 2021

Penerbit BRIN

© 2021 Badan Riset dan Inovasi Nasional
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Penganugerahan Habibie Prize: Penghargaan Habibie Periode XXIII Tahun 2021.
Jakarta: Penerbit BRIN, 2021.

xxxi + 137 hlm.; 14,8 x 21 cm

1. Inovasi

2. Habibie Prize

608.7598

Copy editor : Risma Wahyu Hartiningsih
Proofreader : Sonny Heru Kusuma
Penata Isi : Dhevi E.I.R. Mahelingga
Desainer Sampul : Dhevi E.I.R. Mahelingga

Cetakan : Oktober 2021



Diterbitkan oleh:
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung BJ 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: lipipress.lipi.go.id

 PenerbitBRIN
 @penerbit_BRIN
 @penerbit_brin

DAFTAR ISI

Sambutan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional pada Penganugerahan Habibie Prize 2021	vii
Sambutan Ketua Pengurus Yayasan SDM-IPTEK pada Penganugerahan Habibie Prize 2021.....	xi
Sekilas tentang Yayasan SDM-Iptek	xv
Habibie Prize 2021	xvii
Struktur Organisasi Yayasan SDM-Iptek Periode 2017–2022.....	xviii
Susunan Panitia Seleksi Penghargaan Habibie 2021	xix
Penerima Penghargaan Habibie Tahun 1999–2021	xxi

Profil Penerima Penghargaan Habibie 2021

Muhammad Hanafi.....	1
Nicolaas Cyrillus Budhiparama	7
Subagjo	17
Nyoman Nuarta	23

Makalah Presentasi Penerima Habibie PRIZE 2021

TANTANGAN DAN PELUANG DALAM PROSES PENEMUAN DAN PENGEMBANGAN OBAT BARU	29
Prof. Dr. Muhammad Hanafi, M.Sc.	

MEWUJUDKAN INOVASI <i>TOTAL KNEE ARTHROPLASTY</i> SESUAI KEBUTUHAN MASYARAKAT INDONESIA UNTUK HASIL YANG LEBIH BAIK	53
Assoc. Prof. dr. Nicolaas C. Budhiparama, Ph.D, Sp.OT(K).FICS	

MERINTIS KEMANDIRIAN BANGSA DALAM TEKNOLOGI KATALIS.....	89
Prof. Dr. Ir. Subagjo, DEA	

SENI, SAINS, DAN TEKNOLOGI KAWAN SEJALAN MEMBANGUN PERADABAN	127
Dr. (HC) Nyoman Nuarta	





SAMBUTAN KEPALA BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL PADA PENGANUGERAHAN HABIBIE PRIZE 2021

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,
Salam sejahtera bagi kita semua,

Yang saya hormati,

- Presiden Republik Indonesia, Bapak Joko Widodo;
- Menteri Kabinet Indonesia Maju;
- Ketua dan Para Wakil Ketua Majelis Permusyawaratan Rakyat;
- Ketua Dewan Perwakilan Rakyat;
- Ketua dan Para Wakil Ketua serta Anggota Komisi Dewan Perwakilan Rakyat;
- Ketua dan Para Wakil Ketua Dewan Perwakilan Daerah;
- Kepala Lembaga Pemerintah Non Kementerian;
- Dewan Pengarah Badan Riset dan Inovasi Nasional;
- Keluarga Besar Bapak Bacharuddin Jusuf Habibie;
- Dewan Pembina, Pengurus, dan Pengawas Yayasan SDM- Iptek; dan The Habibie Center;
- Para Pejabat Eselon I dan II di BRIN;
- Para Penerima Habibie Prize;
- Ketua dan Anggota Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIP);
- Para Rektor, Ilmuwan, dan Budayawan;
- Para Pakar dan Tokoh Iptek;
- Para Hadirin dan Tamu Undangan yang Berbahagia.

Pertama-tama marilah kita panjatkan segala puji syukur ke hadirat Allah Swt., Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat

dan karunia-Nya sehingga kita semua dapat menghadiri acara “Penganugerahan Habibie Prize” yang diberikan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional bekerja sama dengan Yayasan SDM-Iptek.

Penganugerahan Habibie Prize merupakan salah satu upaya untuk melanjutkan harapan dan cita-cita Habibie membangun SDM Indonesia unggul dan berdaya saing, yang sejalan dengan visi kenegaraan Presiden Joko Widodo dalam hal pengembangan SDM. Pembangunan SDM unggul akan sangat mendukung kemajuan Indonesia dan menjadi salah kunci utama peningkatan daya saing di percaturan global. Hal yang harus disadari bahwa kemajuan suatu bangsa tidak cukup hanya dengan tersedianya sumber daya alam yang melimpah dan pembangunan infrastruktur yang masif, tetapi juga harus didukung dengan peningkatan kualitas SDM; SDM Indonesia yang mampu berinovasi untuk membangun bangsa.

Habibie menunjukkan kepada bangsa Indonesia akan kemampuan Indonesia untuk berinovasi dan memanfaatkan iptek untuk kemajuan dan kedaulatan bangsa. Indonesia maju dan berdaulat dapat digapai jika kita mempersiapkan secara sungguh-sungguh dan bersinergi dalam pembangunan SDM agar dapat bergerak cepat memenangkan persaingan global.

Saya mengucapkan selamat kepada empat penerima Habibie Prize Tahun 2021, semoga karya-karya dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) dapat terus dihasilkan di masa mendatang. Semoga penerima Habibie Prize, sebagai putra-putri bangsa terbaik dalam bidang iptek dapat menjadi inspirasi dan pemimpin bangsa Indonesia dalam kemajuan iptek di tengah perkembangan global. Penghargaan ini merupakan momentum dan dorongan untuk kita semua berupaya menghasilkan lebih banyak lagi prestasi-prestasi lainnya.

Hadirin yang terhormat,

Semoga Habibie Prize menjadi motivasi dan inspirasi bagi para peneliti, ilmuwan, dan masyarakat untuk terus berkarya dan berkontribusi di berbagai bidang, khususnya bidang iptek, guna mendorong kemajuan dan kesejahteraan bangsa Indonesia. Bagi



para penerima Habibie Prize diharapkan agar tetap terus produktif dan meningkatkan kontribusinya di bidang masing-masing serta melakukan yang terbaik untuk bangsa ini.

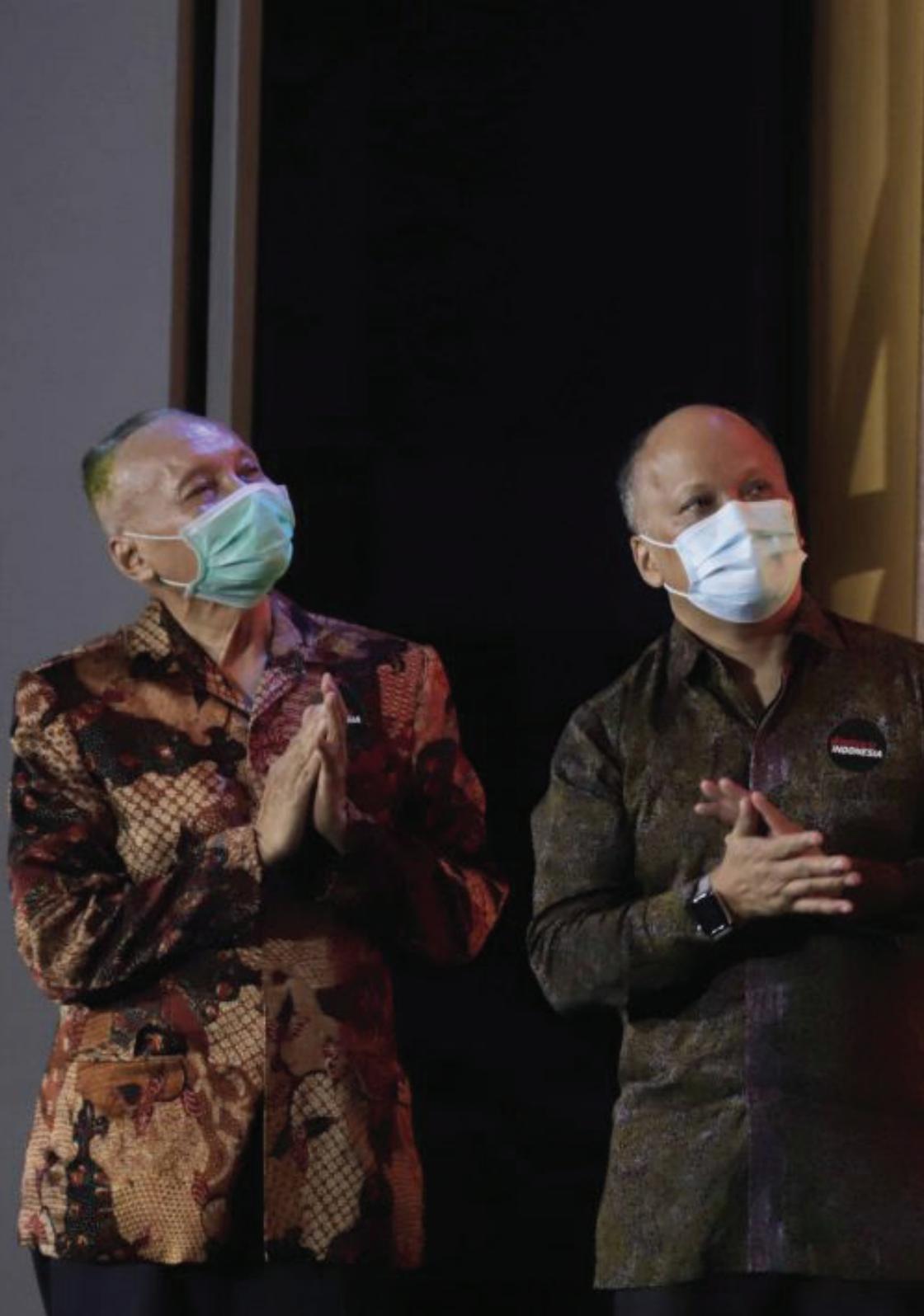
Kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada keluarga Bapak Bacharuddin Jusuf Habibie atas segala dukungan yang diberikan bagi penyelenggaraan acara ini. Selanjutnya, kami mengucapkan apresiasi kepada segenap jajaran pengelola Yayasan SDM-Iptek, Dewan Juri Habibie Prize, tim BRIN, panitia pelaksana acara, dan semua pihak yang terlibat dan berpartisipasi langsung atas suksesnya penyelenggaraan Habibie Prize Tahun 2021.

Terima kasih atas perhatiannya.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional

Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.



SAMBUTAN KETUA PENGURUS YAYASAN SDM-IPTEK PADA PENGANUGERAHAN HABIBIE PRIZE 2021

Jakarta, 17 November 2021

Yang terhormat:

- Bapak Presiden Republik Indonesia, Bapak Joko Widodo;
- Bapak Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bapak Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.;
- Keluarga Besar Bapak Bacharuddin Jusuf Habibie; Dewan Pembina, Pengurus, dan Pengawas Yayasan SDM IPTEK dan The Habibie Center;
- Para Penerima Habibie Prize;
- Ketua dan Anggota AIPI;
- Para Rektor, Ilmuwan, dan Budayawan;
- Para Tokoh dan Pakar Science & Teknologi Indonesia;
- Para Undangan, Bapak dan Ibu yang kami hormati.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Salam sejahtera untuk kita semua,

Pertama-tama, marilah kita bersama-sama mengucapkan puji syukur ke hadirat Tuhan YME, karena atas perkenan-Nya kita semua berada dalam keadaan sehat walafiat dan dapat menghadiri Acara Penganugerahan Penerima “Habibie Prize” untuk Periode Tahun 2021.

Pada tahun 1997, Bapak B.J. Habibie, sebagai Menteri Negara Riset dan Teknologi mendirikan Yayasan SDM-Iptek untuk mendorong kemajuan dan peningkatan mutu iptek Indonesia, yaitu, antara lain, dengan memberikan penghargaan “Habibie Award” kepada para Ilmuwan yang unggul di bidangnya masing-masing.

Habibie Award dalam pemilihannya menerapkan kriteria yang tinggi dan memberikan penghargaan kepada 5 (lima) bidang ilmu yang luas, yaitu :

- 1) Bidang Ilmu Dasar
- 2) Bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi
- 3) Bidang Ilmu Rekayasa
- 4) Bidang Ilmu Sosial, Ekonomi, Politik, dan Hukum
- 5) Bidang Ilmu Filsafat, Agama, dan Kebudayaan

Hadiah Habibie Award yang diberikan cukup besar untuk standar Indonesia, yaitu sebesar US\$ 25.000,-. Pemberian Habibie Award telah dilakukan sejak tahun 1999 dan merupakan salah satu pemberian penghargaan yang prestisius di Indonesia. Kriteria penilaian selalu konsisten dan tetap, yaitu berupa keunggulan dalam riset dan inovasi.

Pada tahun 2020, Kementerian Riset/BRIN telah mengambil alih Habibie Award dalam naungannya, dan kemudian menamakannya menjadi Habibie Prize. Selanjutnya pada tahun 2021, penyelenggaraan pemberian Habibie Prize dilaksanakan oleh Badan Riset dan Inovasi (BRIN).

Keluarga Besar Almarhum Bapak B.J. Habibie, Yayasan The Habibie Center, dan Yayasan SDM-Iptek sangat menghargai, merasa senang, dan bersukacita atas pengambilalihan pemberian penghargaan tersebut dengan skala yang lebih bersifat nasional, serta akan meningkatkan prestise dan mutu pemilihan Habibie Prize di dalam maupun diluar negeri. Lebih lanjut dengan pengelolaan oleh Pemerintah akan meneruskan gagasan Bapak B.J. Habibie untuk peningkatan iptek dan inovasi, serta merupakan penghargaan kepada Bapak Presiden ketiga RI, yang sekaligus merupakan Bapak Teknologi Nasional.

Kami juga bersyukur karena pada masa mendatang pihak BRIN akan tetap melanjutkan pemberian Habibie Prize dengan nilai dan kriteria yang sama serta ditentukan secara independen, seperti yang telah dilaksanakan selama 23 tahun ini.

Selanjutnya, kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Presiden, Bapak Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), dan seluruh jajaran BRIN yang telah melaksanakan acara Penganugerahan Habibie Prize.

Bapak dan Ibu yang terhormat,

Hari ini, pemberian Penganugerahan Habibie Prize kepada keempat orang Penerima Habibie Prize adalah Periode XXIII Tahun 2021. Selanjutnya acara ini akan ditutup dengan pidato utama oleh Presiden Republik Indonesia, Bapak Joko Widodo.

Kepada para Penerima Habibie Prize, saya mengucapkan selamat dan semoga Bapak dapat terus berkarya dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi.

Kami mengucapkan terima kasih, khususnya kepada Keluarga Besar almarhum Bapak B.J. Habibie, kepada segenap jajaran pengurus yayasan dan panitia pelaksana acara Penganugerahan Habibie Prize XXIII atas segala dukungan yang diberikan selama ini, serta terselenggaranya Penganugerahan Habibie Prize ini dari sejak berdiri sampai dengan sekarang. Selanjutnya dengan harapan, kiranya visi dan misi dibentuknya Yayasan SDM-Iptek ini tetap berlanjut di masa yang akan datang.

Akhirnya, kepada Bapak Presiden dan Kepala BRIN, kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas terselenggaranya pelaksanaan Penganugerahan Habibie Prize Tahun 2021.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberkahi kita semua. *Amin ya Robbal'alamin.*

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Prof. Dr.-Ing. Wardiman Djojonegoro



SEKILAS TENTANG YAYASAN SDM-IPTEK

Yayasan Sumber Daya Manusia dalam Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (disingkat Yayasan SDM-Iptek) didirikan pada tanggal 12 Mei 1997 oleh Prof. Dr.-ing. B.J. Habibie, Dr. Hj. Hasri Ainun Habibie, Dr.-ing. Ilham Akbar Habibie, dan Dipl.-ing. Thareq Kemal Habibie.

Pada saat pendirian, yayasan ini semula bernama Yayasan Pembinaan Pengembangan Sumber Daya Manusia dalam Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Yanbinbang SDM-Iptek) namun telah berganti nama dalam rangka penyesuaian Undang-Undang Yayasan Nomor 16 Tahun 2001.

Dalam struktur organisasi Yayasan, jabatan ketua dipimpin oleh:

- 1) Ketua Pembina: Dipl.-Ing. Thareq Kemal Habibie, menggantikan almarhum Prof. Dr.-ing. Dr.Sc.(H.C.) Bacharuddin Jusuf Habibie
- 2) Ketua Pengurus: Prof. Dr.-ing. Wardiman Djojonegoro
- 3) Ketua Pengawas: Prof. Hj. Dewi Fortuna Anwar, M.A., Ph.D.

Yayasan SDM-Iptek bertujuan mewujudkan sumber daya manusia Indonesia yang unggul, memiliki kualitas iman dan takwa yang tinggi, sekaligus mampu menguasai, mengembangkan dan mengendalikan ilmu pengetahuan dan teknologi secara mandiri untuk kejayaan bangsa dan rakyat Indonesia secara keseluruhan.

Guna mencapai tujuan tersebut di atas, Yayasan SDM-Iptek melakukan kegiatan yaitu:

- 1) Memberikan beasiswa program S3 atau bantuan riset pasca-S3.
- 2) Memberikan penghargaan dan hadiah kepada perorangan atau Badan yang telah berjasa dalam melakukan karya terobosan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek).
- 3) Mengembangkan sumber daya manusia dalam ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek).

- 4) Membentuk atau membantu berdirinya Pusat Peragaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.

Yayasan SDM-Iptek memiliki 2 (dua) program utama, yaitu pemberian beasiswa dalam negeri dan luar negeri, dan pemberian penghargaan B.J. Habibie (Habibie Award), namun sejak tahun 2011 Yayasan SDM-Iptek memfokuskan program utama Habibie Award.

Penghargaan Habibie merupakan salah satu program utama Yayasan SDM-Iptek yang telah diselenggarakan sejak 1999 sampai dengan 2019. Setiap tahunnya Yayasan SDM-Iptek menganugerahkan Penghargaan Habibie kepada para tokoh Indonesia yang telah membuat terobosan dalam bidang Iptek.

Pengusulan atau nominasi dapat dilakukan oleh Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIPI), Dewan Riset Nasional (DRN), perguruan tinggi negeri atau swasta, lembaga ilmu pengetahuan atau riset, organisasi profesi dan cendekiawan, Kamar Dagang dan Industri dan Perwakilan/Kedutaan Besar RI di Luar Negeri atau perseorangan.

Nominasi dilakukan dengan cara mengajukan nama calon kepada Pengurus Yayasan paling lambat tanggal 5 Juli setiap tahunnya, dengan melampirkan riwayat hidup dan mengisi formulir khusus yang disediakan untuk menerangkan mengenai prestasi dan jasa-jasa yang bersangkutan di bidang Iptek.

Para calon Penerima Penghargaan Habibie diseleksi oleh para pakar dari berbagai disiplin ilmu yang tergabung dalam Panitia Seleksi Habibie Award. Penganugerahan ini diharapkan dapat mendorong insan anak bangsa untuk menghasilkan karya-karya terbaiknya yang bermanfaat bagi bangsa dan negara Indonesia.

Penghargaan diberikan kepada perseorangan yang aktif dan sangat berjasa dalam penemuan, pengembangan, dan penyebarluasan berbagai kegiatan ilmu pengetahuan dan teknologi yang baru (inovatif) serta bermanfaat secara berarti (signifikan) bagi peningkatan kesejahteraan, keadilan, dan perdamaian. Sampai tahun lalu terdapat 66 orang penerima Penghargaan Habibie yang telah terpilih sehingga menjadi 70 orang pada tahun ini.

HABIBIE PRIZE 2021

Pada hari ini, 17 November 2021, Yayasan SDM-Iptek menyelenggarakan pemberian penghargaan atas prestasi yang dicapai dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi untuk yang ke-23 kalinya sejak tahun 1999. Penghargaan bernama Penghargaan Bacharuddin Jusuf Habibie (Habibie Award, untuk selanjutnya disebut Habibie Prize) ini dianugerahkan oleh Ketua Pengurus Yayasan SDM-Iptek.

Habibie Prize diberikan dalam bentuk:

- 1) Medali
- 2) Sertifikat
- 3) Uang sebesar US\$ 25,000

PENERIMA PENGHARGAAN HABIBIE PRIZE 2021

Setelah melalui sistem seleksi yang ketat, Yayasan SDM-Iptek menetapkan empat orang penerima penghargaan Habibie Prize, yaitu:

1. Prof. Dr. M. Hanafi
2. Prof. Nicolaas C. Budhiparama
3. Prof. Dr. Ir. Subagjo, DEA
4. Dr. (HC) Nyoman Nuarta

**Formulir Habibie Prize dapat diunduh
di www.habibiecenter.or.id**

STRUKTUR ORGANISASI YAYASAN SDM-IPTEK PERIODE 2017–2022

- Ketua Pembina : Dipl.Ing. Thareq Kemal Habibie
- Anggota Pembina : Dr.-Ing. Ilham Akbar Habibie, M.B.A.
Prof. Dr. H. Muladi, S.H.
Prof. Dr. Sofian Effendi
Ir. Suyatim Abdurrahman Habibie
Prof. Dr. Jimly Asshiddiqie, S.H.
- Ketua Pengurus : Prof. Dr.-Ing. Wardiman Djojonegoro
- Wakil Ketua : Dr. Ir. Fuadi Rasjid
- Sekretaris : Dra. Trulyanti Sutrasno
- Wakil Sekretaris : Ir. Hadi Kuntjara M.Eng.Sc., Ph.D.
- Bendahara : Dr. Didit Hidayat Agripinanto
- Ketua Pengawas : Prof. Dr. Hj. Dewi Fortuna Anwar, M.A.
- Anggota Pengawas : Ir. Umar Juoro, M.A., M.A.P.E.
Prof. Dr. Indria Samego
Drs. Andi Makmur Makka, M.A.

SUSUNAN PANITIA SELEKSI PENGHARGAAN HABIBIE 2021

Ketua : Prof. Dr. -Ing. Wardiman Djojonegoro

Wakil Ketua : Dr. Ir. Fuadi Rasyid, M.Sc.

Anggota : 1. Dra. Trulyanti Sutrasno, M. Psi.
2. Dr. Ir. Didit H.A. Ratam, MBA.
3. Anggun Inggriani, S.H., M.Kn.

Tim Peninjau/

Sekretariat Pelaksana : 1. Driszal Fryantoni
2. R. Arthur Ario Lelono
3. Febrianti Susana Rosa
4. Irma Kartikawati
5. Sakina Rahmania
6. Prafitri Dimarmayasari
7. Frida Nurmasari
8. Shima Tri Aksa



PENERIMA PENGHARGAAN HABIBIE TAHUN 1999-2021

Penerima Penghargaan Habibie 1999

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Moehammad Barmawi	Guru Besar ITB	ITB
2.	Ilmu Rekayasa	Dr. Ir. Dicky Rezady Munaf, MS, MSCE	Dosen Jurusan Teknik Sipil - ITB	ITB

Penerima Penghargaan Habibie 2000

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Kedokteran & Bioteknologi	Prof. Dr. dr. Mulyanto Prof. Dr. dr. Soewignjo Soemohardjo, Sp.PD-KGEH	Rektor Universitas Mataram Kepala Unit Riset Biomedik RSU Mataram	Universitas Mataram RSU Mataram & Universitas Udayana
2.	Ilmu Rekayasa	Dr. Ir. I Gede Wenten, MSc.	Dosen Jurusan Teknik Kimia ITB	ITB
3.	Ilmu Hukum	Prof. Dr. Mochtar Kusumaatmadja, SH., LL.M.	Guru Besar Fakultas Hukum Universitas Padjajaran	Unpad
4.	Ilmu Kebudayaan	W.S. Rendra	Budayawan	ISI Yogyakarta

Penerima Penghargaan Habibie 2001

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Dr. Terry Mart	Dosen Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia	FMIPA UI
2.	Ilmu Rekayasa	Prof. Dr. Ir. Aryadi Soewono	Guru Besar ITB	Lembaga Penelitian ITB
3.	Ilmu Sosial Politik	Prof. Dr. Taufik Abdullah, APU	Ketua Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia	L I P I
4.	Ilmu Kebudayaan	Prof. Dr. H. Edi Sedyawati	Guru Besar Universitas Indonesia	Fak. Sastra UI

Penerima Penghargaan Habibie 2002

Untuk tahun 2002, berdasarkan keputusan Tim Penyeleksi Penghargaan B.J. Habibie 2002, calon-calon yang dinominasikan tidak ada yang memenuhi kriteria sesuai yang telah ditentukan.

Penerima Penghargaan Habibie 2003

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Bambang Hidayat	Observatorium Bosscha Bandung	ITB
2.	Ilmu Kedokteran & Bioteknologi	Prof. dr. Sangkot Marzuki, M.Sc., Ph.D., D.Sc.	Direktur Yayasan Eijkman	Yayasan Eijkman
3.	Ilmu Filsafat, Agama dan Kebudayaan	Prof. Dr. I Made Bandem, M.A.	Rektor Institut Senirupa Indonesia, Yogyakarta	Institut Senirupa Indonesia, Yogyakarta

Penerima Penghargaan Habibie 2004

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Dr. Laksana Tri Handoko	Dosen Luar Biasa FMIPA UI	LIPI Jakarta
2.	Ilmu Rekayasa	Dr. Wilson Walery Wenas	Dosen ITB	Dr. Wilson WaleryWenas

Penerima Penghargaan Habibie 2005

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Djoko TjahjonoIskandar	Guru Besar ITB	ITB
2.	Ilmu Kedokteran & Bioteknologi	Prof. Sjamsul Arifin Achmad, B.Sc., Ph.D., D.Sc.	Guru Besar ITB	LIPI Jakarta

Penerima Penghargaan Habibie 2006

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Freddy Permana Zen,M.Sc., M.S., D.Sc.	Dosen ITB	Prof. M.T. Zen
2.	Ilmu Kedokteran & Bioteknologi	Prof. Dr. dr. Askandar Tjokroprawiro	Guru Besar Universitas Airlangga	Fakultas Kedokteran Unair
3.	Ilmu Ekonomi	Dr. Thee Kian Wie	Staf Ahli LIPI	LIPI Jakarta

Penerima Penghargaan Habibie 2007

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Sri Widiyantoro	Dosen ITB	FIKTM ITB
2.	Ilmu Kedokteran & Bioteknologi	Prof. Dr. Elin Yulinah Sukandar, Apt.	Dosen Departemen Farmasi ITB	Sekolah Farmasi ITB
3.	Ilmu Sosial	Dr.(H.C.) Rosihan Anwar	Anggota DewanFilm Nasional	Institut Pengembangan Media Lokal
4.	Ilmu Kebudayaan	Dr.(H.C.) Taufiq Ismail	Redaktur Senior Majalah Horison	Majalah Sastra Horison

Penerima Penghargaan Habibie 2008

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Drs. Jatna Supriatna, M.Sc., Ph.D.	<i>Regional Vice President,</i> Conservation International Indonesia	APII
2.	Ilmu Kedokteran & Bioteknologi	Dr. Herawati Sudoyo, M.S., Ph.D.	Wakil Direktur Lembaga Eijkman	Lembaga Eijkman
3.	Ilmu Rekayasa	Dr. Bambang Widiyatmoko, M.Eng.	Peneliti LIPI	LIPI
4.	Ilmu Kebudayaan	Prof. Sardono W. Kusumo	Rektor Institut Kesenian Jakarta	Prof. Dr. I MadeBandem

Penerima Penghargaan Habibie 2009

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Edi Tri Baskoro	Dosen FMIPA ITB	Dr. Akhmaloka (Dekan FMIPA ITB)
2.	Ilmu Rekayasa	Dr. Nurul Taufiqu Rochman M.Eng.	Peneliti LIPI	Prof. Dr. Anung Kusnowo, M.Tech.
3.	Ilmu Kebudayaan	Ajip Rosidi*	Penulis	Rektor Universitas Padjajaran

Penerima Penghargaan Habibie 2010

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Rekayasa	Dr.-Eng. Eniya ListianiDewi, B.Eng., M.Eng.	Peneliti BPPT	BPPT
2.	Ilmu Kebudayaan	Prof. Dr. Adrian BernardLapian	Guru Besar FakultasSastra UI	LIPI
3.	Harmonisasi Kehidupan Beragama	Prof. Dr. Ahmad SyafiiMaarif	Anggota Dewan Penasehat PP Muhammadiyah	Prof. Dr.-Ing. Bacharuddin JusufHabibie
4.	Harmonisasi Kehidupan Beragama	Prof. Dr. Frans MagnisSuseno, SJ	Pastur	Prof. Dr.-Ing. Bacharuddin JusufHabibie

Penerima Penghargaan Habibie 2011

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Soekarja Somadikarta	Guru Besar FMIPA Universitas Indonesia	Prof. Dr.der.Soz. Gumilar Rusliwa Somantri (Rektor UI)
2.	Ilmu Sosial	Prof. Dr. Ir. Sajogyo	Anggota Kehormatan Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia	Dr. Arif Satria (Dekan Fakultas Ekologi IPB)

Penerima Penghargaan Habibie 2012

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. H. Effendy, M.Pd., Ph.D	Dosen FMIPA Universitas NegeriMalang	Dr. I. Wayan Dasna, M.Si. M. Ed. (Wakil Rektor Bidang Perencanaan, Kerja Sama, dan Komunikasi UNM)
2.	Ilmu Kedokteran	Prof. Dr. dr. Teguh Santoso Sukamto	Guru Besar Fakultas Kedokteran UI	Dr. Susilawati B., MHA (Direktur RS. Medistra)

Penerima Penghargaan Habibie 2013

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Dr. Anto Sulaksono, M.Si.	Peneliti Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia	Dr. Anto Sulaksono, M.Si.
2.	Ilmu Kedokteran & Bioteknologi	Prof. Dr. Ir. Irwandijaswir, M.Sc.	Director, Marine Product Research Centre, Surya Institute	Prof. Yohanes Surya (Chairman Surya Institute)
3.	Ilmu Rekayasa	Prof. Dr. Ir. Mohammad Nasikin, M.Eng.	Guru Besar Fakultas Teknik Universitas Indonesia	Bachtiar Alam, Ph.D. (Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat UI)
4.	Ilmu Kebudayaan	Prof. Dr. Abdul Hadi WijiMuthari	Guru Besar Universitas Paramadina	Toto Amin Soefijanto, Ed. (Deputi Akademik, Riset dan Kemahasiswaan Universitas Paramadina)

Penerima Penghargaan Habibie 2014

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Dr.Eng. Ferry Iskandar	Lektor Jurusan Fisika, ITB	Prof. Dr. Umar Fauzi (Dekan FMIPA ITB)
2.	Ilmu Rekayasa	Ahmad Agus Setiawan,S.T., M.Sc.Ph.D.	Dosen Fakultas Teknik UGM	Prof.Ir. Panut Mulyono, M.Eng., D.Eng. (Dekan FT UGM)
3.	Ilmu Sosial dan Politik	Prof. Dr. Drs. Salim Said, MA, MAIA	Mantan Duta Besar, Dosen di Universitas Pertahanan Indonesia	Prof. Dr. Taufik Abdullah (Akademi Jakarta)
4.	Ilmu Kebudayaan	Norbertus Riantiarno	Aktor, Sutradara, Penulis	Norbertus Riantiarno

Penerima Penghargaan Habibie 2015

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang mencalonkan
1.	Ilmu Rekayasa	Dr. Eng. Wisnu Jatmiko,S.T., M.Kom.	Dosen Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia	Mirna Adriani, Ph.D. (Dekan Fasilkom UI)
2.	Ilmu Sosial	Prof. Dr. Hj. NinaHerlina, M.S.	Guru Besar Ilmu Sejarah Universitas Padjadjaran	Dr. H. Mumuh Muhsin Z., M.Hum. (Wakil Dekan Fakultas Ilmu Budaya Unpad)
3.	Ilmu Kebudayaan	Prof. Emr. Drs. AbdulDjalil Pirous	Guru Besar Emeritus bidang Seni Rupa Fakultas Seni Rupa& Desain ITB	Prof. Dr. Ahmad Syafii Maarif

Penerima Penghargaan Habibie 2016

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang Mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Hendra Gunawan, Ph.D.	Dosen Matematika FMIPA ITB	Prof. Dr. Edy Tri Baskoro, M.Sc. (Dekan FMIPA ITB)
2.	Ilmu Kedokteran & Bioteknologi	Raymond R. Tjandrawinata, Ph.D.,MS.MBA.	Director of Corporate Development PT Dexa Medica	Dr. Siswa Setyahadi (Wakil Ketua Konsorsium Bioteknologi Indonesia)
3.	Ilmu Rekayasa	Prof. Ir. Tommy Firman, M.Sc., Ph.D.	Dosen Teknik Planologi Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan ITB	Prof. Dr.-ing. Ir. Widjaja Martokusumo (Dekan SAPPK ITB)
4.	Ilmu Kebudayaan	Prof. Dr. Sapardi Djoko Damono	Ketua Senat Akademik Institut Kesenian Jakarta	Prof. Dr. A. Malik Fadjar

Penerima Penghargaan Habibie 2017

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang Mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Eng. Khairurrijal	Guru Besar Bidang Fisika Material dan Instrumentasi, FMIPA ITB	Prof. Dr. Edy Tri Baskoro, M.Sc. (Dekan FMIPA ITB)
2.	Ilmu Rekayasa	Ir. Suryadi Ismadji, MT, Ph.D.	Dosen Unika Widya Mandala	Ir. Felycia Edi Soetaredjo, Ph.D. (Wakil Dekan I Fakultas Teknik UnikaWidya Mandala Surabaya)
3.	Ilmu Hukum	Prof. Dr. Bagir Manan, S.H., MCL	Guru Besar Fakultas Hukum Universitas Padjajaran	Prof. Dr. An-An Chandrawulan (FH Unpad)

Penerima Penghargaan Habibie 2018

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang Mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Eng. Mikrajuddin Abdullah	Guru Besar Bidang Fisika Nanomaterial FMIPA ITB	Prof. Dr. Edy Tri Baskoro, M.Sc. (Dekan FMIPA ITB)
2.	Ilmu Kedokteran	Prof. Rovina, dr., Sp.PD, Ph.D.	Kepala Dept. Ilmu Kedokteran Dasar Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran	Dr. Med. Setiawan, dr., AIFM (FK Unpad)
3.	Ilmu Rekayasa	Prof. Dr. Edvin Aldrian, B.Eng., M.Sc.	Peneliti Meteorologi dan Klimatologi BPPT	Dr. Bambang Setiadi (Ketua Dewan Riset Nasional)

Penerima Penghargaan Habibie 2019

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang Mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Ivandini Tribidasari Anggraningrum, S.Si., M.Si.	Guru Besar Kimia FMIPA Universitas Indonesia	Prof. Dr. Ivandini Tribidasari Anggraningrum
2.	Ilmu Kedokteran & Bioteknologi	Prof. dr. Adi Utarini, M.Sc., MPH, Ph.D.	Dosen Fakultas Kedokteran Universitas GadjahMada	Prof. dr. Ova Emilia, M.Med, Ph.D. Sp. OGCK (Dekan FK UGM)
3.	Ilmu Rekayasa	Prof. Dr. Ir. Tati Latifah Erawati Rajab Mengko	Guru Besar Sekolah Teknik Elektro & Informatika Institut Teknologi Bandung	Ir. Yani Panigoro, MM (Komisaris Ketua MWA ITB)

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang Mencalonkan
4.	Ilmu Sosial dan Politik	Prof. Dr.rer. publ. Eko Prasajo, Mag. rer.publ	Dekan Fakultas Ilmu Administrasi Universitas Indonesia	Prof. Dr. Ir. Muhammad Anis, M.Met (Rektor UI)
5.	Ilmu Kebudayaan	Dr.(H.C.) I Gusti NgurahPutu Wijaya, S.H.	Budayawan	Dewi Pramunawati (Teater Mandiri)

Penerima Penghargaan Habibie 2020

No	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang Mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Dr. Suharyo Sumowidagdo	Peneliti Fisika LIPI	Dr. Laksana Tri Handoko (Kepala LIPI)
2.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Euis Holisotani Hakim	Guru Besar Kimia FMIPA ITB	Wahyu Srigutomo, S.Si., M.Si., Ph.D. (Dekan FMIPA ITB)
	Ilmu Bioteknologi	Dr. Puspita Lisdiyanti, M.Agr.Chem.	Kepala Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI	Dr. Laksana Tri Handoko (Kepala LIPI)
3.	Ilmu Rekayasa	Prof. Dr. Ir. Daniel Murdiyarso	Guru Besar Ilmu Atmosfer Departemen Geofisika & Meteorologi IPB	Prof. Jatna Supriatna, M.Sc., Ph.D. (Ketua Pusat Riset Perubahan Iklim Universitas Indonesia)

Penerima Penghargaan Habibie 2021

No.	Bidang Keilmuan	Nama Penerima	Pekerjaan	Lembaga yang Mencalonkan
1.	Ilmu Dasar	Prof. Dr. Muhammad Hanafi, M.Sc.	Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN	Dr. Eng. Agus Haryono (Plt. Kepala LIPI)
2.	Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi	Assoc. Prof. dr. Nicolaas C. Budhiparama, Ph.D, Sp.OT(K), FICS	1. Dosen Universitas Airlangga 2. Leiden University Medical Center, The Netherlands	1. Prof. Dr. M.Nasih, S.E., M.T., Ak., CMA. (Rektor Universitas Airlangga) 2. Prof. dr. Abdul Muthalib Sp.PD - KHOM . (Wakil Ketua Dokter Kepresidenan RI)
3.	Ilmu Rekayasa	Prof. Dr. Ir. Subagio, DEA	Dosen Institut Teknologi Bandung	Prof. Reini Wirahadikusumah, Ph.D. (Rektor ITB)
4.	Ilmu Kebudayaan	Dr. (HC) Nyoman Nuarta	Seniman	Arcana Foundation

A photograph of an award ceremony stage. In the background, a large screen displays a portrait of Habibie and the text 'HABIBIE PRIZE 2020'. A podium in the center features a logo with a stylized bird and the number '25'. Four people are on stage: a woman in a brown batik dress on the left, a man in a blue batik shirt in the center holding an award, a woman in a green batik dress on the right holding an award, and a man in a patterned batik shirt on the far right. The stage is decorated with plants in the foreground.

HABIBIE PRIZE
2020

HA

25

ABIBIE PRIZE





PROFIL PENERIMA PENGHARGAAN HABIBIE 2021

PROF. DR. MUHAMMAD HANAFI, M.SC.





**PROFIL PENERIMA HABIBIE PRIZE 2021
BIDANG ILMU DASAR**

Muhammad Hanafi

Prof. Dr. Muhammad Hanafi, M.Sc. lahir pada 12 April 1957 di Semarang, sebagai putra ke-7 dari 12 saudara dari pasangan almarhum Achamad Gufron dan almarhumah Siti Saodah. Beliau menikah pada 13 Desember 1987 dengan Setiatmi Sandyo dan dikaruniai dua putra. Keduanya dilahirkan di Osaka, Jepang yang diberi nama Muhammad Imam Fadila lahir pada tanggal 12 Agustus 1991 dan Muhammad Ilham Aulia yang lahir pada tanggal 2 Desember 1995. Keduanya telah menyelesaikan program master di IPB.

Muhammad Hanafi, lulus S1 dari Fakultas Kimia Universitas Indonesia (UI) pada 1985 dalam bidang Kimia Bahan Alam, melakukan isolasi dan identifikasi struktur. Pada tahun 1987, menjadi peneliti pada Pusat Penelitian Kimia Terapan LIPI, dan pada tahun 1988 telah mengikuti diklat Sekolah Pimpinan Administrasi Tingkat Lanjut (Sepala) IPT LIPI angkatan ke-1, serta tahun 2000 mengikuti diklat Sekolah Pimpinan Administrasi Tingkat Madya

(Sepama) angkatan ke-4. Untuk meningkatkan kompetensinya, ia telah menyelesaikan S2 bidang Kimia Bahan Alam untuk identifikasi struktur, dan dilanjutkan S3 pada bidang Kimia Bahan Alam melakukan isolasi, identifikasi, total sintesis, dan sintesis analognya untuk antikanker di jurusan kimia pada Universitas Osaka City, Jepang.

Keahlian dan kompetensi penelitiannya fokus pada proses penemuan dan pengembangan obat dari bahan alam. Kariernya sebagai peneliti mulai aktif sejak 1997 setelah menyelesaikan S3, dan pada tahun 2008 telah mencapai Ahli Peneliti Utama, sedangkan gelar Profesor riset diperoleh tahun 2012 dengan tema Proses Penemuan Obat baru Antikolesterol dan Antikanker. Pada tahun 2005, menjabat sebagai Kepala Bidang Bahan Alam Pangan dan Farmasi (BAPF) lebih dari 10 tahun.

Untuk menunjang kariernya sebagai peneliti, telah banyak melakukan kegiatan penelitian dengan mendapatkan dana dan kerja sama penelitian dalam proses penemuan dan pengembangan obat melalui RUT, Insinas Ristek, Kompetitif LIPI, kerja sama dengan P2 Biologi-UC-Davis, kerja sama FKUI-Kobe University-JICA, serta dana program JSPS (dua kali) dengan Osaka City University dan Kobe University, Jepang. Pada kegiatan ini dihasilkan senyawa antibiotika dari mikroba, analog UK-3A sebagai antikanker, turunan lovastatin sebagai antikolesterol dan anti virus hepatitis B (HBV). Selain itu juga dihasilkan turunan kina sebagai antikanker.

Selain telah melakukan kerja sama dengan pihak swasta untuk memproduksi bahan aktif dari bahan alam, seperti alkaloid, katekin, gambir, dan metil sinamat, sejak 2015 juga berkontribusi pada PT. Dexa Medica sebagai konsultan.

Untuk meningkatkan kinerja dan kompetensi, juga aktif sebagai pengajar program S2 di Farmasi Universitas Pancasila sejak 2005, S2 Kimia sejak 2003, S2 THH IPB (sejak 2020), dan S2 FKG Universitas Trisakti (sejak 2018). Selain itu, juga aktif sebagai ko-promotor dan penguji pada program doktor dan master serta S1 di UI, IPB, UGM, Unpad, Universitas Pancasila, Unsoed, dan Undip. Jumlah bimbingan mahasiswa S3 >25, Master >40, dan S1 >42 serta Penguji S3 >20. Selain itu juga aktif pada beberapa organisasi

profesi, seperti Kimia Medisinal (Perakmi), Indonesian Society of Cancer Chemoprevention (ISCC), dan Himpenindo LIPI. Pada berbagai seminar internasional dan nasional juga berkontribusi sebagai *invited speaker*. Selain aktif sebagai editor dan *reviewer* pada berbagai jurnal nasional dan internasional, beliau juga sebagai penelaah naskah orasi Pengukuhan Profesor riset, Ketua TP2U, TP2I, dan juga asesor uji kompetensi kenaikan jabatan fungsional.

Dengan semua aktivitas tersebut, prestasi yang telah dicapai selain sebagai peneliti terbaik di Pusat penelitian Kimia, Inventor Award 2014, termasuk dalam 106 Inovasi Indonesia Prospektif 2014, juga meraih sebagai peneliti dengan Inventor Terproduktif LIPI tahun 2017. Jumlah paten hingga 2021 diperoleh >40, dengan *granted* 23. Penghargaan sebagai peneliti dengan jumlah publikasi terbanyak dalam 2017–2019 berdasarkan data Scopus tahun 2019. Di samping itu, beliau juga mendapatkan penghargaan sebagai 500 peneliti terbaik Indonesia SINTA Award oleh Kemenristek-dikti 2020. Hingga kini jumlah publikasi jurnal internasional 112, prosiding internasional 55, jurnal nasional 46. Pada tahun 2020 juga mendapatkan penghargaan internasional The Hitachi Global Foundation Asia Innovation Award 2020 sebagai *Encouragement Award*, dengan tema “Development of Indonesian Medicinal Plants as Herbal Medicines and Drugs for Treatment of Infectious Diseases”.

Saat ini, sedang melakukan penelitian dalam penemuan senyawa aktif anti-virus Hepatitis B (HBV) dengan pendanaan dari JSPS, melalui skrining dan telah didapatkan ekstrak dan fraksi aktif dari tanaman *Casisa fistula* (trengguli), *Poemetia pinnata* (matoa), dan *Disoxylum densiflorum* (majegau). Pada ekstrak tanaman tersebut juga mempunyai aktivitas sebagai antidiabetes melalui penghambatan enzim α -glukosidase, diidentifikasi senyawa marker dan senyawa yang mempunyai afinitas (*in silico*) sebagai anti HBV dan antidiabetes, didanai melalui program Obat Tradisional PN IPT.

Puji syukur Alhamdulillah atas prestasi ini, dan tentunya diperoleh karena berkah dan rahmat Allah Swt. dan dukungan, kerja sama semua pihak serta doa. Saya menyadari sepenuhnya, tentunya semua hal di atas berkat dukungan, kerja sama, dan partisi-



pasi dari berbagai pihak, seperti teman-teman peneliti, analis, dan tentu saja bagian tata usaha. Tak lupa saya mengucapkan terima kasih dan tentu saja puji syukur kepada Allah Swt. atas taufik dan hidayah-Nya, serta nikmat iman dan kesehatan yang diberikan sehingga dapat menjalankan tugas sebagai peneliti.



HABIBIE PRIZE

Penghargaan Habibi





**ASSOC. PROF. DR. NICOLAAS C.
BUDHIPARAMA, PH.D, SP.OT(K)., FICS,**



**PROFIL PENERIMA HABIBIE PRIZE 2021
BIDANG ILMU KEDOKTERAN
DAN BIOTEKNOLOGI**

Nicolaas Cyrillus Budhiparama

Assoc. Prof. dr. Nicolaas C. Budhiparama, Ph.D, Sp.OT(K), FICS, putra sulung pasangan almarhum dr. Nicolaas Aloysius Budhiparama, Sr. dan Pretty Budhiparama, bercita-cita agar dokter Indonesia pada umumnya dan dokter ahli ortopedi pada khususnya dapat dikenal dan disegani di level dunia. Terinspirasi seperti cita-cita alm. Prof. -Ing. B.J. Habibie, yang selalu ingin bangsa Indonesia menjadi bangsa yang mandiri dan disegani oleh bangsa lainnya. Pertemuan dengan almarhum, yang merupakan sosok idola Nicolaas, pada tahun 1993 di Bad Oeynhausen, Jerman, mendorong Nicolaas untuk mendedikasikan hidupnya untuk membawa nama Indonesia, khususnya di bidang ilmu kedokteran agar diakui di level internasional. Karya-karyanya mewarnai dunia bedah tulang Indonesia sehingga para dokter ortopedi di Indonesia menjadi dokter tingkat dunia dan diakui keahliannya secara internasional. Dedikasi dan kecintaan Nicolaas yang tidak pernah padam, konkret dan konsisten, telah membawa reputasi Indonesia di mata dunia, khususnya di bidang ortopedi.

Setelah lulus sebagai dokter umum dari Universitas Sumatra Utara, Nicolaas melanjutkan pendidikan spesialis ortopedi di Universiteit Leiden Medical School dan lulus sebagai lulusan termuda Leiden University pada tahun 1993. Oleh karena itu, motivasi yang besar untuk terus belajar, Nicolaas dianugerahi beberapa beasiswa *fellowship* untuk pendidikan lanjutan di beberapa pusat pendidikan ortopedi terkemuka, seperti *Y. Cotrel Fellowship* di Prancis dan *AFOR Fellowship* di Switzerland. Hasil dari kerja keras dan kedisiplinannya, diangkat sebagai *Chief de Clinique* di Leiden University sebagai satu-satunya orang asing yang menjabat di posisi tersebut. Jabatan ini yang membuatnya dapat bertemu dengan alm. B.J. Habibie pada saat itu di Jerman. Pada tahun-tahun berikutnya, Nicolaas mendapat beberapa kesempatan *fellowship* di pusat pendidikan ortopedi terkemuka dunia untuk terus mengembangkan kemampuan dan keilmuannya, seperti di New England Baptist Hospital (Harvard Medical School, Boston, USA), di Lennox Hills Hospital (New York, USA), dan Colorado Joint Replacement (Denver, USA).

Nicolaas kembali ke Indonesia pada tahun 1994. Setelah menyelesaikan proses penyetaraan di Universitas Indonesia, ia menjalani perannya sebagai dokter bedah tulang di Jakarta. Pada tahun 2000, Nicolaas dianugerahkan penghargaan sebagai dokter bedah pertama yang menyelesaikan 100 kasus *Knee Replacement Surgery* oleh Johnson & Johnson Medical Indonesia, yang pada saat itu merupakan prosedur yang sangat jarang dilakukan. Atas prestasi yang diakui di dunia serta membawa nama baik almamater, Nicolaas dianugerahkan gelar Associate Professor dari Leiden University.

Pada tahun 2020, Nicolaas meraih gelar Ph.D. dari Leiden University Medical Center dalam waktu kurang dari 3 tahun dengan tesis berjudul "*Total Knee Arthroplasty: The Asian Perspective on Patient Outcome, Implants and Complications*". Pada saat sidang tesis, Nicolaas dihadapkan dengan 13 orang penguji dari berbagai negara di Eropa, merupakan sesuatu yang luar biasa dan jarang sekali terjadi. Begitu banyak prestasi dan dedikasi yang sangat konsisten sepanjang karier, Nicolaas, sebagai putra bangsa berhasil diangkat menjadi presiden 3 organisasi ortopedi tingkat dunia

dalam periode yang sama (sesuatu yang belum pernah terjadi di mana pun di dunia).

Belum selesai sampai di sini, Nicolaas masih terus aktif mengejar ilmu dengan melakukan studi S3 di Universitas Gadjah Mada. Penelitian tesis yang diangkat berfokus tentang hubungan genetik dengan potensi pengapuran tulang (osteoarthritis). Penelitian ini bekerja sama pula dengan Lembaga Penelitian Eijkman. Dengan promotor Prof. dr. Tri Wibawa, Ph.D, Sp.MK(K) dan Dr. dr. Rahadyan Magetsari, Sp.B, Sp.OT(K), dan dibimbing oleh Prof. dr. Herawati Sudoyo, M.S., Ph.D (Pemenang Habibie Award 2008), serta dukungan dari Kepala Program Post-doktoral FKKMK UGM, Prof. dr. Adi Utarini, M.Sc, MPH, Ph.D. (Pemenang Habibie Award 2019), Nicolaas berencana untuk menyelesaikannya pada awal tahun 2022.

Berbekal pengalaman dan pendidikan yang ditempuh, Nicolaas memberikan beberapa sumbangsih dalam bidang keilmuan ortopedi di Indonesia. Bekerja sama dengan Rumah Sakit Umum Pusat Nasional (RSUPN) Cipto Mangunkusumo dan RS Kanker Dharmais Jakarta, Nicolaas bersama dengan Prof. dr. Errol Hutagalung, Sp.B, Sp.OT(K) adalah dokter bedah di Indonesia yang memperkenalkan *Limb Salvage Surgery with Allograft Reconstruction*, yang merupakan tonggak sejarah penting karena memberikan harapan dan kualitas hidup yang lebih baik pada pasien-pasien dengan tumor tulang. Berbekal pengalaman di Universitas Leiden, yang merupakan salah satu pusat onkologi terbaik dunia, dan Eurotransplant Bone Bank, bekerja sama dengan RSUPN Cipto Mangunkusumo dan RS Kanker Dharmais Jakarta, Nicolaas mendedikasikan ilmu dan pengalamannya untuk merintis bagian Kanker Tulang di RS Kanker Dharmais yang kemudian menjadi cikal bakal Bank Tulang di Indonesia. Semangat ini dilanjutkan dengan didirikannya Bank Jaringan di RSUD Dr. Soetomo, Universitas Airlangga, Surabaya oleh sahabat kami almarhum dr. Abdurrahman.

Di bidang rekonstruksi sendi atau *arthroplasty*, Nicolaas adalah dokter yang memperkenalkan teknik-teknik baru, seperti *computer-assisted surgery*, *unicondylar knee arthroplasty*, dan *hyperflex knee* di Indonesia. Ilmu dan teknik yang diperkenalkan oleh Nicolaas di

Indonesia membantu para ahli ortopedi untuk melakukan teknik operasi yang lebih mutakhir sehingga memberikan pelayanan operasi yang paripurna dan berguna untuk peningkatan kualitas hidup pasien.

Nicolaas berkeyakinan bahwa meningkatkan kualitas lulusan ortopedi dan menjembatani dokter ortopedi dengan komunitas internasional akan menjadi cara yang tepat untuk menaikkan reputasi kedokteran bedah tulang Indonesia di mata dunia. Nicolaas membaktikan dirinya selama bertahun-tahun di Kolegium Orthopaedi dan Traumatologi Indonesia sebagai Kepala Komisi Hubungan Internasional. Salah satu program kerjanya adalah menjembatani kolaborasi antara Kolegium Orthopaedi dan Traumatologi Indonesia dengan Kolegium Australia (AOA), dalam hal peningkatan mutu *national board examination* dengan mengundang dewan penguji dari Australia secara resmi. Kerja sama juga dijalin dengan Kolegium Nederlandse Orthopaedie Vereniging (NOV).

Selain itu, Nicolaas juga mengharumkan nama Indonesia di kancha internasional dengan ikut serta menjadi pembicara dan moderator pada banyak pertemuan ortopedi bergengsi di dunia (sebanyak 297 kali sampai saat ini). Tak jarang Nicolaas menjadi satu-satunya insan Indonesia/Asia Pasifik, yang diundang sebagai pembicara utama/keynote lecture, seperti pada World Arthroplasty Congress, European Knee Society, Emirates International Congress, AAOS Annual Meeting, ICJR Middle East. Di samping itu, Nicolaas juga mengajar di berbagai kursus keahlian ortopedi, seperti pada Leiden University Medical Center, Lyon Knee School, The Masters Series (USC Keck School of Medicine, USA), dan AO Recon. Sebaliknya, Nicolaas pun mengundang banyak pembicara dan pengajar ternama di bidang ortopedi untuk mengajar di Indonesia.

Agar nama Indonesia lebih dikenal di mata internasional, Nicolaas mendedikasikan dirinya dalam berbagai organisasi dunia sebagai berikut:

- 1) Satu dari 18 Founding Godfather, 1 dari 11 *Executive Committee*, dan Board of Directors dari International Society of Ar-

- throscopy, Knee Surgery & Orthopaedic Sports Medicine (ISA-KOS)
- 2) Pendiri dan *past president* Indonesian Hip & Knee Society (IHKS)
 - 3) *Founding chairman* dan *past president* ASEAN Arthroplasty Association (AAA)
 - 4) European Knee Society (EKS) - 1 dari 67 *full member* pertama pada tahun 2015. Sebuah organisasi ortopedi eksklusif dan bergengsi di Eropa.
 - 5) American Association of Hip and Knee Surgeons (AAHKS) - 1 dari 23 *international member* pada tahun 2005
 - 6) American Academy of Orthopaedic Surgeons - *international member* sejak 1997
 - 7) *Global chair* dari International Congress for Joint Reconstruction (ICJR)
 - 8) *Committee member* dari International Consortium for Health Outcomes Measurement (ICHOM), Harvard Business School

Prestasi tinggi dan dedikasi Nicolaas dalam peningkatan mutu kedokteran membawanya untuk diangkat menjadi Presiden dari 3 organisasi ortopedi se-Asia Pasifik dan Timur Tengah, pada periode yang bersamaan, di bidang bedah tulang, yaitu Asia Pacific Arthroplasty Society (APAS), Asia Pacific Knee Society (APKS), dan Arthroplasty Society in Asia (ASIA). Jabatan sebagai presiden di tiga organisasi internasional tersebut merupakan hasil dari pemilihan (*voting*) oleh *Executive Board* di ketiga organisasi. Atas prestasi ini pula, Nicolaas mencetak Rekor MURI sebagai “Insan Indonesia yang Menjabat Presiden di Tiga Organisasi Ortopedi Dunia pada periode bersamaan”.

Impian Nicolaas sebagai presiden 3 organisasi adalah menggabungkan seluruh dokter bedah ortopedi di Asia Pasifik dan Timur Tengah meskipun ketiga organisasi tersebut merupakan kompetitor. Upaya ini berhasil dilakukan dengan adanya APAS-ASIA-APKS Combined Online Meeting pada bulan Juli 2021. Dan diharapkan pada tahun 2022, konferensi ini (Hip & Knee Summit 2022) dapat diadakan secara fisik di Bali.

Dalam menjalani perannya dalam berbagai organisasi ortopedi bergengsi di dunia, Nicolaas menjadi dokter spesialis dari seluruh dunia yang diundang sebagai perwakilan Asia Pasifik untuk mengikuti International Consensus Meeting (ICM) di Philadelphia, USA, pada tahun 2018, untuk merancang pedoman (*guideline*) global dalam penanganan infeksi musculoskeletal. Pada tahun 2021, Nicolaas diundang kembali untuk merancang pedoman global untuk penanganan Venous Thromboembolism (VTE).

Selain itu, beliau juga ikut terlibat dalam bidang publikasi ilmiah, sebagai editor dan reviewer untuk 21 jurnal ilmiah bergengsi dari berbagai negara di dunia.

Tak lupa akan generasi penerus, Nicolaas kerap mendukung para dokter muda dengan menjembatani dan mensponsori dokter spesialis orthopaedi muda untuk menjalankan program *fellowship* di Eropa dan Amerika. Nicolaas juga bercita-cita agar calon dokter ortopedi bisa menambah wawasan dan pengalaman selama masa pendidikan dengan cara menjembatani beberapa kerja sama antara universitas di Indonesia dan luar negeri, sebagai contoh adalah mengirim peserta didik Indonesia dari Universitas Airlangga (UNAIR) ke Leiden University Medical Center dan *fellow* Universitas Gadjah Mada (UGM) ke *Kantonsspital Baselland, Switzerland*.

Sebaliknya, Nicolaas menerima dokter muda dari luar negeri untuk menjalankan program *fellowship* di bawah bimbingannya. Nicolaas juga turut mendukung program sosial di dalam dan luar negeri, seperti *Operation Walk*, sebuah gerakan yang diprakarsai oleh alm. Lawrence Dorr, yang memberikan operasi gratis bagi orang-orang yang kurang mampu di seluruh penjuru dunia. Di tingkat dunia, beliau juga menyumbang secara pribadi melalui Nicolaas Institute for Constructive Orthopaedic Research and Education Foundation untuk The Paolo Aglietti Award pada acara ISA-KOS Congress yang dianugerahkan kepada peneliti terbaik dalam bidang Knee Arthroplasty. Pada umumnya, penghargaan seperti ini dipersembahkan oleh sebuah institusi atau perusahaan. Selain itu, Nicolaas Foundation bersama dengan Ibu Inge Widjaja juga memberikan donasi untuk memulai beasiswa Knee Arthroplasty Travelling Fellowship di mana pemenang beasiswa dapat dilatih dan berkolaborasi pada Center of Excellence seluruh dunia. Di

samping itu, Nicolaas memprakarsai Chehab Rukni Hilmy Award di acara IHKS yang dianugerahkan kepada 3 penulis *paper* ilmiah terbaik dalam pertemuan tersebut.

Tak hanya membuka jalan bagi dokter muda Indonesia, Nicolaas juga menjadi inspirasi banyak mahasiswa kedokteran dan fisioterapi. Nicolaas berbakti sebagai dosen khusus di Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat dan Keperawatan Universitas Gajah Mada (UGM) dan Fakultas Vokasi Universitas Airlangga (UNAIR). Nicolaas meyakini bahwa generasi muda harus didorong dan diberi semangat untuk bisa terus belajar, dan memiliki pola pikir internasional. Nicolaas menjembatani kolaborasi antara Fakultas Vokasi UNAIR dengan Belanda, Amerika Serikat, dan Jepang sehingga mahasiswa berkesempatan untuk diajar oleh dosen dari luar negeri dan menimba ilmu sebanyak-banyaknya.

Selain menginspirasi dokter muda, Nicolaas membina para atlet dan pelatih PBSI & PRSI. Dalam membekali tim nasional dalam menghadapi pertandingan dunia, Nicolaas bersama dengan Iwan Hermawan dan Alex Tirta (PP PBSI) menginisiasi tim *sport science* untuk mendukung aspek non-teknis selama persiapan pertandingan. Dalam tim ini terdapat dokter spesialis olahraga, ahli gizi, fisioterapis, pelatih fisik dan psikolog. Dengan demikian, persiapan yang matang dapat dilakukan, baik secara fisik maupun mental, bahkan nutrisi atlet dijaga betul sehingga mereka bisa bertanding dengan optimal. Nicolaas menekankan pentingnya pencegahan cedera pada atlet. Para atlet dan pelatih didorong untuk menjaga komunikasi yang baik dengan tim medis agar cedera dapat diatasi sedini mungkin sehingga menjaga kesehatan mental atlet. Hal ini memungkinkan atlet untuk dapat terus berlatih dan bertanding untuk mengharumkan nama bangsa di panggung dunia. Upaya ini membuahkan hasil yaitu dimenangkannya kembali Piala Thomas ke tanah air Indonesia setelah 19 tahun.

Pada waktu senggangnya, sejak masa mudanya sampai hari ini Nicolaas menuangkan kecintaannya dalam olahraga dengan berenang, balapan formula, terjun payung (*sky diving*), ski, berkuda, dan lainnya. Pada beberapa kesempatan, Nicolaas tampil bermain music (*jamming*) dengan musisi legendaris alm. Ireng Maulana, dan lain-lain.



Bersama dengan istri tercinta, Ir. Adriana Sri Lestari, MBA (Honorary Consul of the Republic of Estonia to Indonesia), Nicolaas dikaruniai dua orang putra, yaitu putra sulung, Nicolaas Bryant Budhiparama, yang telah menikah dengan Stephanie Sampoerna, serta putra bungsu Nicolaas C. Edrick Budhiparama. Dan telah dikaruniai seorang cucu laki-laki bernama Nicolaas Michael Budhiparama. Di tengah-tengah jadwalnya yang padat, Nicolaas masih menyisihkan waktu yang terbaik untuk keluarganya dengan bermain golf atau bermusik bersama-sama.

HABIBIE PRIZE

Pencapaian Habibi Periode



PROF. DR. IR. SUBAGJO, DEA





PROFIL PENERIMA HABIBIE PRIZE 2021 BIDANG ILMU REKAYASA

Subagjo

Prof. Dr. Ir. Subagjo, DEA lahir di Surabaya pada 13 Maret 1952 sebagai anak ketiga, dari empat bersaudara, dari pasangan Harsono Darmosiswojo dan Narjati. Setelah menyelesaikan pendidikan Sekolah Rakyat (SR), Sekolah Menengah Pertama (SMP), dan Sekolah Menengah Atas (SMA) seluruhnya di Surabaya, Subagjo melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Kimia ITB tahun 1971. Lulus sarjana Teknik Kimia ITB tahun 1975 dan langsung bekerja sebagai dosen (CPNS) di ITB. Pada tahun 1977 Subagjo berkesempatan mengikuti program belajar di Universite de Poitiers Perancis, dan pada 1981 lulus sebagai Docteur d'Etat bidang katalisis. Pada 1982 Subagjo menikah dengan Minarti Susanto, dan dikaruniai 3 orang anak: Maryam Gustisandi (1983), Maryam Dewiandratika (1985) dan Isa Adi Subagjo (1988).

Saat ini Subagjo selain sebagai staf pengajar Prodi Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, juga dipercaya sebagai Ketua Kelompok Keahlian Teknologi Reaksi Kimia dan Katalisis FTI ITB; Kepala Pusat Rekayasa Katalisis ITB dan Kepala Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis ITB.

Dalam bidang pendidikan Subagjo mengajar berbagai mata kuliah, serta membimbing Tugas Akhir mahasiswa S1, S2 dan S3 Teknik Kimia ITB. Mata kuliah dan topik penelitian yang ditekuni semuanya berkaitan dengan bidang Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis.

Dalam bidang pengabdian kepada masyarakat, Subagjo telah banyak memberikan berbagai pelatihan untuk tenaga operasi pabrik, dan sering diminta sebagai konsultan dalam evaluasi kinerja dan seleksi katalis di industri. Menyadari pentingnya Indonesia mandiri dalam bidang katalisis, Subagjo dan beberapa rekannya bersepakat untuk mendirikan Masyarakat Katalisis Indonesia (MKI) dan mendeklarasikannya pada 2004. MKI diharapkan dapat menjadi wahana berhimpunnya para-pakar dalam bidang teknik reaksi kimia dan katalisis untuk berkonsolidasi, berdiskusi, melempar ide dan mewujudkan mimpi mengembangkan teknologi katalisis dan teknologi proses di Indonesia.

Dalam bidang penelitian, Subagjo aktif melaksanakan penelitian dalam bidang teknik reaksi kimia dan katalisis. Penelitian pertamanya, dimulai pada 1982, berkaitan dengan pengembangan katalis dan proses perengkahan stearin menjadi bahan bakar nabati. Saat itu (1985) cita-citanya untuk mengembangkan proses dalam skala yang lebih besar (skala pilot/demo) kandas, karena kesulitan mendapatkan mitra industri.

Dalam pengembangan katalis dan teknologi proses, kerja sama dengan industri mutlak diperlukan. Selain membantu pendanaan yang sangat besar dalam pengembangan dan operasi unit pilot atau bahkan demo, juga sangat penting, sejak awal melibatkan mitra industri calon pengguna proses/katalis yang dihasilkan. Untuk dapat menjalin kerja sama itu diperlukan komunikasi yang efektif dengan industri melalui berbagai kegiatan, agar terbangun kesepahaman dan keselarasan dalam pemikiran.

Saat ini Subagjo bersama tim dari Pusat Rekayasa Katalisis ITB telah berhasil menjalin kerja sama dengan beberapa industri (PT. Pertamina, PT. Pupuk Kujang, industri oleokimia dll.) dan mendapat dukungan dari beberapa lembaga pemerintah (BRIN, KemenESDM, BDPKKS dll.). Kerja sama penelitian umumnya ditujukan untuk pengembangan katalis dan teknologi proses. Pada saat ini beberapa jenis katalis dan teknologi proses telah berhasil dikembangkan, termasuk katalis dan proses konversi minyak sawit dan inti sawit menjadi bahan bakar biohidrokarbon. Seluruh hasil penelitian tersebut telah dipatenkan, dan 5 diantara katalis yang dikembangkan telah diproduksi dan digunakan di industri. Oleh karena itu Pusat Rekayasa Katalisis ITB juga telah menjalin kerja sama dengan PT Pupuk Kujang dan PT Pertamina Persero untuk membangun pabrik Katalis Nasional (pabrik Katalis Merah-Putih). Diharapkan pabrik ini akan mulai beroperasi pada akhir 2022.

Menyadari peran penting katalis dalam penyelenggaraan dan pengembangan industri proses, pemerintah mempercepat pembangunan pabrik katalis dengan menjadikannya sebagai proyek strategis nasional (PSN) di bawah koordinasi kementerian ESDM dengan judul “Pembangunan Bahan Bakar Hijau”. Demikian pula dengan pengembangan proses dan teknologi produksi BBN Biohidrokarbon berbasis sawit, sejak tahun 2020 telah diusung sebagai PSN di bawah koordinasi BRIN dengan judul “Teknologi Produksi Bensin Nabati dengan Katalis Merah Putih yang Terintegrasi dengan Kebun Rakyat”. Pengembangan BBN Biohidrokarbon berbasis sawit ini dinilai sangat penting, karena selain dapat mengurangi impor BBM dan minyak mentah, juga untuk penyediaan bahan bakar baru terbarukan yang lebih ramah lingkungan serta berpengaruh positif pada penyerapan minyak sawit/inti sawit di dalam negeri.

Kerja panjang ini, selain menghasilkan para Sarjana, Magister dan Doktor Teknik Kimia, beberapa publikasi ilmiah, beberapa paten yang menghasilkan royalti, dan beberapa peralatan dan instrument analisis kimia, juga katalis yang berunjuk kerja baik dan telah digunakan di industri. Hasil lain yang sangat penting adalah timbulnya kepercayaan pihak industri dan pemerintah



pada kemampuan perguruan tinggi dalam pengembangan katalis dan proses, serta terwujudnya kerjasama A-B-G yang telah lama didengungkan. Semoga riak-riak kecil keberhasilan ini dapat membesar dan memicu terjadinya gelombang besar keberhasilan dalam bidang teknologi proses di negeri ini.

HABIBIE PRIZ

enghar Habibie Period



DR. (HC) NYOMAN NUARTA





**PROFIL PENERIMA HABIBIE PRIZE 2021
BIDANG ILMU FILSAFAT, AGAMA,
DAN KEBUDAYAAN**

Nyoman Nuarta

Dr. (HC) Nyoman Nuarta dilahirkan di kota kecil Tabanan, Bali pada tanggal 14 November 1951, dari lingkungan keluarga pengusaha yang berhasil dan cukup dikenal di kotanya, kemudian dididik di desa oleh pamannya seorang Kelian Adat dengan disiplin tinggi. Sampai dengan pendidikan menengah atas diselesaikan di Bali. Adapun pendidikan terakhirnya diselesaikan di Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 1979.

Dengan kekuatan lingkungan di Bali yang memengaruhinya sejak masa kanak-kanak ia telah banyak terlibat dalam kegiatan kesenirupaan di desanya. Dengan mendapat dukungan penuh dari bapak Ketut Darma Susila, guru menggambarnya yang juga dianggap Nyoman Nuarta sebagai orang pertama yang memberinya semangat dalam dunia kesenirupaan.

Pengalaman profesional dimulai sejak mahasiswa, di antaranya bergabung dalam Gerakan Seni Rupa Baru Indonesia pada tahun 1975 dengan mengikuti pameran kelompok ini di Bandung, Jakarta, dan Australia. Ia juga memenangkan sayembara Patung Proklamator RI dari Presiden Soeharto saat masih kuliah.

Dalam pengembangan profesinya secara lebih lanjut pada bidang seni rupa, Nyoman Nuarta mendirikan PT Siluet Nyoman Nuarta (d.h. Studio Nyoman Nuarta) pada tahun 1975 dan melalui berbagai rintangan panjang serta hambatan, perusahaan ini kini didukung oleh sekitar 150 pekerja dari berbagai disiplin ilmu.

Pengelolaan sistem manajemen yang profesional disertai dengan kesungguhan, ketegaran dan kekokohan pribadinya, berhasil membuktikan bahwa bidang kesenirupaan (murni) yang selalu dianggap sangat individual ternyata sangat mungkin untuk dilaksanakan melalui sistem manajemen yang baik.

Temuannya tentang teknik pembesaran patung telah mendapatkan pengakuan dan berhasil dipatenkan pada tahun 1993. Teknologi ini tidak hanya terpaku pada teknik pembuatan yang memiliki efisiensi yang tinggi, tetapi lebih dari itu juga diperhitungkan agar keberadaan patung-patung raksasa yang dibangunnya dapat memberikan *multiplier effect* yang luas terhadap masyarakat sekitar pada khususnya, dan bangsa Indonesia pada umumnya.

Kontribusi Nyoman Nuarta terhadap kemajuan seni rupa dan pariwisata bangsa Indonesia telah mendapatkan banyak pengakuan baik dari dalam maupun luar negeri. Di antaranya adalah Ganeca Widya Jasa Adiutama pada tahun 2009 dan 2018 dari Institut Teknologi Bandung, Satyalancana Kebudayaan pada tahun 2014 dari Presiden Susilo Bambang Yudhoyono, serta menjadi warga negara Indonesia pertama yang mendapatkan penghargaan sipil tertinggi Padma Shri dari Presiden India, Ram Nath Kovind di tahun 2018.

Dengan modal kemampuan teknis, ketajaman logika beserta kepekaan rasa dan kematangan dalam mewujudkan ekspresi diri



ke dalam bentuk dua dan tiga dimensional, juga persepsinya terhadap kualitas dan etos kerja yang tinggi menyebabkan Nyoman Nuarta mampu untuk terus mewujudkan karya seakan tak pernah henti.

Rintangan dan hambatan merupakan sebuah rangsangan bagi Nyoman Nuarta untuk menimbulkan semangat berkarya. Baginya, berkarya adalah bentuk dari sebuah doa dan merupakan tanda terima kasihnya kepada Sang Pencipta. Berkarya bagi seorang Nyoman Nuarta adalah sebuah kegiatan yang harus dilakukan secara terus menerus, penuh dengan dedikasi dan berkesinambungan.



HABIBIE PRIZE

Habibie Prize

**Penghargaan Akademik Jendral Habibie
HABIBIE PRIZE 2021**

Diselenggarakan oleh
Ngeman Nuarta

dan Lembaga Adani Tinggi Ilmu Pendidikan
di bawah patronase Kementerian RI dan RI

Lokasi: 11 November 2021

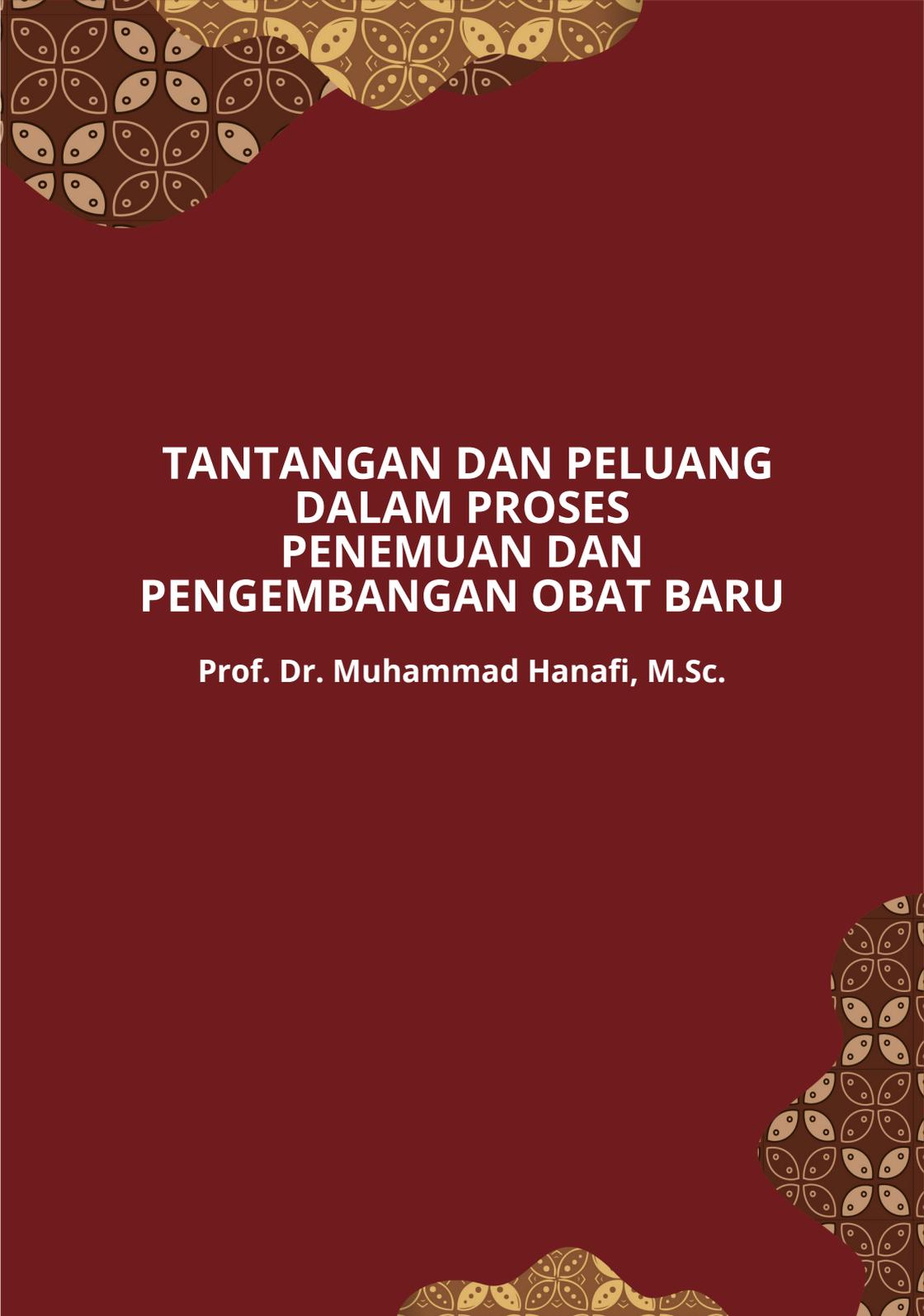
Penerima Penghargaan: **Dr. Nurhidayah, S.Pd., M.Pd., M.Pd.**
Universitas Tadulisan

Academia





**MAKALAH PRESENTASI
PENERIMA HABIBIE PRIZE 2021**



TANTANGAN DAN PELUANG DALAM PROSES PENEMUAN DAN PENGEMBANGAN OBAT BARU

Prof. Dr. Muhammad Hanafi, M.Sc.

TANTANGAN DAN PELUANG DALAM PROSES PENEMUAN DAN PENGEMBANGAN OBAT BARU

Prof. Dr. Muhammad Hanafi, M.Sc.

Pusat Riset Kimia-Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Kawasan Puspiptek-Tangerang Selatan, Banten

*Disampaikan dalam Acara Penghargaan Habibie Prize,
Jakarta, November 2021.*

Abstrak

Indonesia merupakan negara kaya akan keanekaragaman hayati, baik tanaman, mikroba, hewan, maupun biota laut, yang merupakan sumber bahan aktif obat. Sampai saat ini, sebagian besar kebutuhan bahan baku obat masih diimpor. Hal ini dikarenakan prosesnya yang panjang melalui proses skrining, menentukan senyawa aktif, dan struktur kimianya. Telah banyak dilakukan isolasi dan identifikasi senyawa aktif dengan beberapa aktivitas dari berbagai sumber bahan baku. Untuk dan optimasi lagi aktivitasnya dengan merancang turunan atau analognya yang diskriminasi dulu secara *in silico* (komputasi) terhadap target reseptor suatu penyakit. Hasil ini akan dilanjutkan sintesis dan uji aktivitas secara *in vitro*. Untuk keperluan uji klinis masih diperlukan perbesaran skala sintesisnya untuk kebutuhan uji praklinis. Senyawa yang efektif dan aman masih perlu dilanjutkan uji klinis fase I-IV. Waktu proses penemuan suatu obat memerlukan waktu lebih dari 10 tahun dan biaya yang sangat tinggi hingga beberapa triliun. Kendala utama dalam proses penemuan obat adalah masalah adsorpsi, distribusi, metabolisme, dan ekskresinya (ADME), efektivitas, dan keamanannya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, rancangan bisa dipandu dengan menggunakan 5 aturan Lipinsky, terutama lipofisitas dengan nilai Log P <5, berat molekul <500, jumlah akseptor ikatan hidrogen <10, dan jumlah donor ikatan hidrogen <5. Senyawa-senyawa yang memenuhi syarat ini bisa dilakukan

skrining secara *in silico* (komputasi) dulu, kemudian di-*docking* terhadap beberapa target reseptor suatu penyakit. Senyawa yang mempunyai energi interaksi terbaik, dengan melihat energinya makin kecil (makin negatif), akan dipilih untuk dilakukan sintesis dan diuji secara *in vitro*. Senyawa yang paling aktif hasil uji *in vitro* ini, akan dilakukan perbesaran skala sintesis untuk keperluan uji praklinis. Senyawa yang mempunyai efektivitas terbaik dan relatif aman untuk digunakan, akan dilanjutkan uji klinis fase I-IV. Suatu proses penemuan obat dari 5.000–10.000 senyawa hanya akan menghasilkan satu (1) obat baru. Dalam proses penemuan obat baru sangatlah diperlukan dukungan dari berbagai kelompok kepakaran sesuai tahapan yang dilakukan. Berdasarkan hasil tersebut di atas, hal ini menjadikan tantangan dan peluang dalam proses penemuan obat baru ini. Adanya dukungan SDM dan fasilitas yang memadai serta adanya kolaborasi dari berbagai pihak, khususnya industri, maka akan mempermudah dan mempercepat dalam penemuan obat baru di Indonesia.

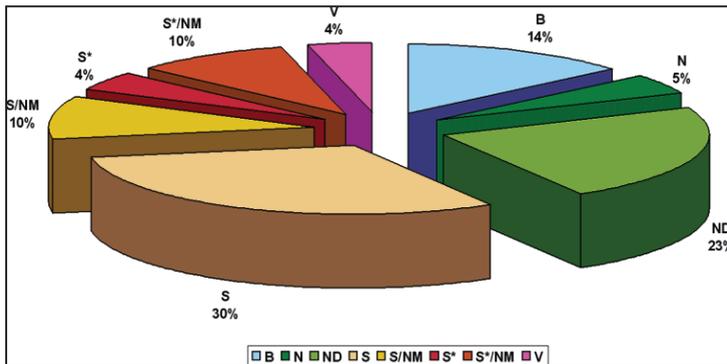
1. TANTANGAN DAN PROSES PENEMUAN DAN PENGEMBANGAN OBAT BARU

Dalam sejarah penemuan obat, kita mengenal tokoh-tokoh Kimia medisinal, seperti Anton van Leeuwenhoek (1632–1723), Louis Pasteur (1822–1895), Robert Koch (1843–1910) dan Paul Ehrlich (1854–1915). Pada 1760, Rev Edward Stone menemukan obat flu dan penghilang rasa sakit (analgesik), yaitu salicin, pada kulit batang tanaman Willow (*Salix alba*). Melalui hidrolisis dan oksidasi dihasilkan asam salisilat yang lebih efektif dan kurang pahit rasanya. Setelah itu berkembang jadi aspirin melalui proses asetilasi pada 1893, yang tidak menimbulkan iritasi dan merupakan prodrug. Pada 1880, ditemukan obat anestetik Cocaine dari *Erythroxylum coca* dan berkembang menjadi Procaine (Novocain). Antibiotik penisilin ditemukan secara kebetulan oleh Fleming ketika sedang melakukan penelitian mengenai berbagai kuman *Staphylococcus* pada 1928. Pada 1940 dilakukan reisolasi dan uji klinis oleh Chain, Florey.¹

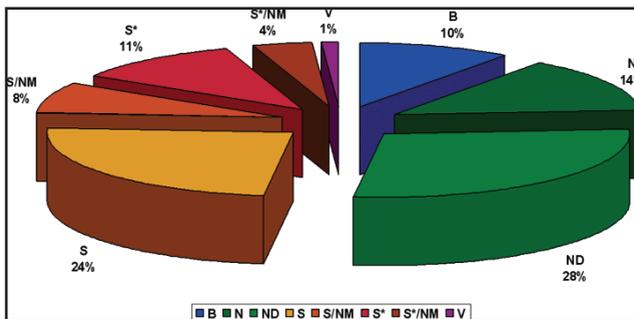
Sejak abad ke-19, penemuan obat terus berkembang dengan ditemukan obat baru menggunakan metode yang semakin mo-

dern. Untuk menghasilkan suatu obat baru bukanlah hal mudah karena tahapannya memerlukan waktu lebih dari 15 tahun dan melalui lima tahapan, yaitu skrining, identifikasi *lead compounds*, optimasi *lead compounds*, preklinis, dan Klinis I-IV. Untuk skrining biasanya melalui uji *in vitro*, yaitu isolasi berdasarkan aktivitas (*activity guided isolation*) sehingga didapatkan *lead compound*. Dalam skrining perlu ditentukan target penyakit dan target obatnya. Sumber bahan baku obat selain melalui skrining dari tanaman tanaman dapat juga dari hewan, mikroba, endofitik dan biota laut. Identifikasi struktur dapat dilakukan dengan dukungan instrumen, terutama FT-NMR dan MS. *Lead compounds* yang diperoleh bisa langsung diuji *in vivo*, tetapi bisa juga dioptimasi lebih dulu aktivitasnya dengan mempelajari QSAR, dengan merancang turunan dan analognya, sehingga diperoleh *lead compound* yang lebih menjanjikan. Setelah itu akan dilanjutkan melalui uji *in vivo* atau dikenal dengan preklinikal. Pada tahap ini diperlukan jumlah sampel yang relatif cukup banyak karena menggunakan hewan uji tikus atau mencit. Uji praklinis yang dilakukan antara lain yang utama adalah toksisitas akut (LD_{50}), efektivitas (dosis), dan toksisitas subkronis. Disamping waktu yang lama dan biaya yang cukup besar, penelitian ini juga masih banyak risiko ketidakterhasilannya². Tingkat keberhasilan skrining dari 5.000 hingga 10.000 senyawa hits melalui uji *in vitro* akan dihasilkan sekitar 250 *lead compounds* (5%), dan setelah melalui uji praklinis (*in vivo*) efektivitas dan keamanan menggunakan hewan uji, maka tinggal 5 *lead compounds* (2%). Antara tahun 1991 sampai dengan 2001, kegagalan dalam penemuan obat telah dikaitkan dengan alasan farmakokinetik, yaitu adsorpsi, distribusi, metabolisme, durasi, dan ekskresi (ADME). Permasalahan kegagalan dalam penemuan obat baru terutama ADME sekitar 39%, keamanan pada uji hewan sekitar 11%, dan uji klinis sekitar 10%, serta komersialisasi hanya sekitar 5%³. Hal ini merupakan tantangan dalam menghasilkan suatu obat baru.

Selama sekitar 25 tahun (1981–2006), penemuan obat baru sebanyak 1.184 dan dihasilkan melalui sintesis (30%), turunan bahan alam 23%, dan bahan alam 5%, sedangkan untuk obat kanker banyak dihasilkan terutama melalui sintesis 24%, turunan bahan alam 28%, dan bahan alam 14%⁴.



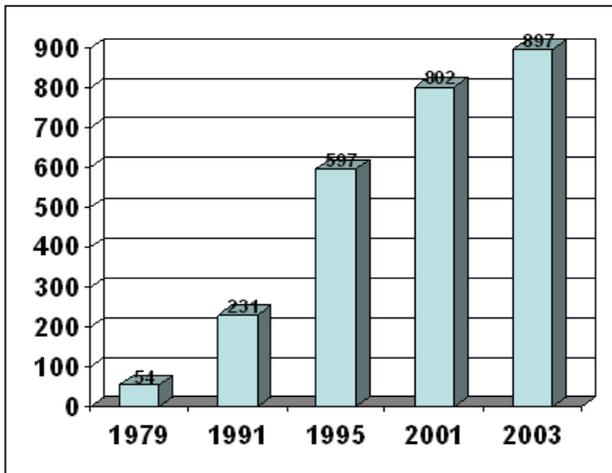
Gambar 2. Penemuan Obat Baru (NCE) sejak 1981-2006 (N 1184)



Gambar 3. Penemuan Obat baru Antikanker 1940-06/2006 (N 175).

Penemuan obat baru selalu dikembangkan terus karena disamping obat yang sudah ada sudah resistan dalam mengatasi berbagai penyakit sehingga kurang efektif akibat adanya mutasi gen dan kurang aman serta masih dirasakan mahal harganya, maka kita terus berpacu dalam rangka menemukan *lead compound* sebagai calon obat baru yang lebih efektif, aman, dan lebih murah⁵. Meski demikian, dengan perkembangan metode penemuan obat relatif cepat berkembang dan biaya yang terus meningkat (USA, Eropa, dan Jepang) hingga berkisar US\$ 800 juta, namun

penemuan obat sampai *release* dipasaran relatif menurun⁶. Faktor yang menyebabkan meningkatnya biaya inovasi, antara lain (1) teknologi; (2) bahan aktif baru yang lebih kompleks; (3) riset berfokus pada penyakit kronik dan degeneratif dengan biaya yang lebih mahal; (4) persyaratan yang lebih ketat.



Gambar 4. Estimasi Biaya Pengembangan Obat Molekul Baru (dalam juta US\$)

2. POTENSI BAHAN ALAM SUMBER BAHAN BAKU OBAT

Indonesia terkenal kaya akan keanekaragaman hayati, dan dikenal sebagai pusat *megadiversity* spesies biologi dan sebagai *megacenter* dari biodiversitas dunia. Kekayaan hayati ini semestinya menjadi sumber kesejahteraan bagi masyarakat Indonesia. Meskipun diperkirakan jumlah spesies tumbuhan Indonesia antara 25.000–30.000 spesies, disinyalir terdapat kurang lebih 9.000 spesies tanaman yang memiliki khasiat obat, namun yang tercatat sebagai bahan obat tradisional hanya 6.000 spesies, dan sekitar 1.000 jenis tanaman sudah dimanfaatkan untuk bahan baku jamu.

Menurut Ditjen POM (1991) ada 283 spesies tumbuhan obat yang sudah terdaftar digunakan oleh industri obat tradisional di Indonesia, di antaranya 180 spesies tumbuhan obat yang berasal dari hutan tropika. Namun, sebagai tanaman unggulan ada 13,

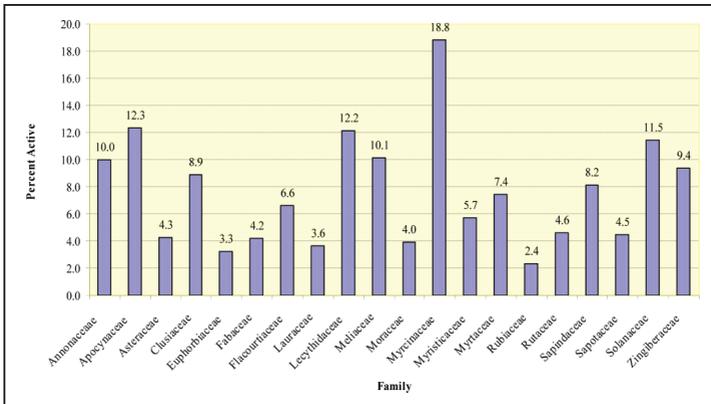
yaitu temulawak, jati belanda, sambiloto, mengkudu, pepagan, daun ungu, sanrego, pasak bumi, daun jinten, kencur, pala, jambu mete, dan tempuyung. Tanaman tersebut dinilai paling baik dan paling berkhasiat dibandingkan tanaman obat lain.

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan dua pertiganya adalah laut, dan juga dikenal mempunyai keanekaragaman hayati yang tinggi (*marine megadiversity*) yang merupakan sumber plasma nutfah, sumber pangan, bahan baku industri farmasi, dan kosmetik. Ada sekitar 1.800 kelompok alga, 3.500 jenis protozoa, moluska lebih 2.500 jenis, krustasea lebih 1.500 jenis, ekinodermata sekira 1.400 jenis, kora lebih dari 850, Echinoderm 745, dan 13.500 jenis hewan (ikan lebih 2.000 jenis)⁷.

Di Indonesia (LIPI), upaya inventarisasi untuk bioprospeksi ini dilakukan, misalnya, oleh Indonesian Center for Biological Diversity and Biotechnology (ICBB), yang bermarkas di Bogor. Lembaga ini telah mendata lebih dari 10.000 isolat (kultur mikro-organisme) yang sebagian besar diisolasi dari Indonesia. Makhluk hidup yang berupa jasad renik itu telah didepositkan pada *culture collection* ICBB. Sebagian besar isolat-isolat tersebut, menurut pihak ICBB, belum banyak dikaji untuk dimanfaatkan⁸.

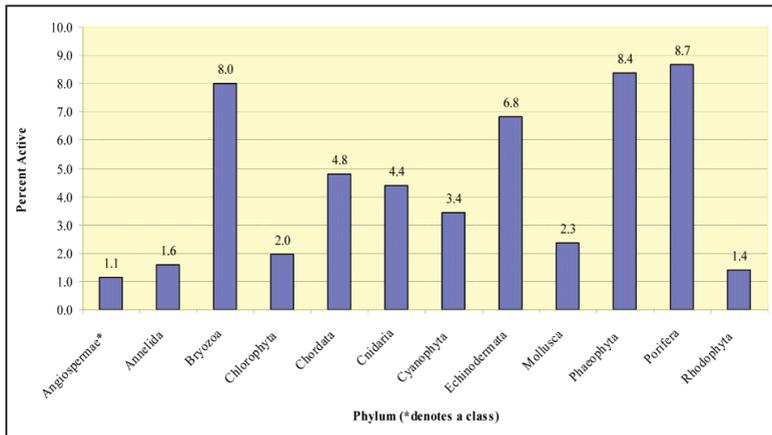
Namun, sangat disayangkan begitu banyak potensi sumber daya alam Indonesia yang masih belum digali, bahkan pemanfaatannya masih sangat minim. Hal ini mungkin dikarenakan dana, fasilitas, dan SDM yang terbatas, namun bisa diatasi bila kita fokus, komitmen, dan bekerja sama saling memperkuat satu sama lain.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan NCI bahwa sumber bahan aktif obat antikanker leukemia banyak ditemukan pada famili, seperti Myrcinaceae, Apocynaceae, Lecytidaceae, dan Solanaceae (Gambar 4), sedangkan potensi sumber bahan aktif dari sumber laut terutama banyak ditemukan pada beberapa famili, seperti Porifera, Phacophyta, Bryozoa, dan Echinodermata (Gambar 5).



Sumber: Gordon, David, dan Stringner (2006)

Gambar 4. Persentase Jumlah Bahan Aktif Leukemia dari Tanaman⁹



Sumber: Gordon, David, dan Stringner (2006)

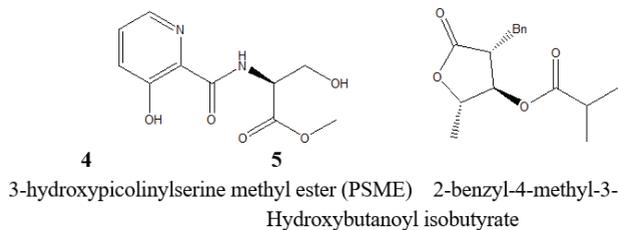
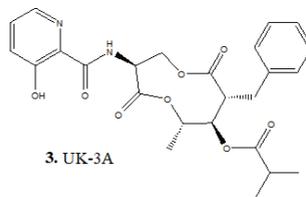
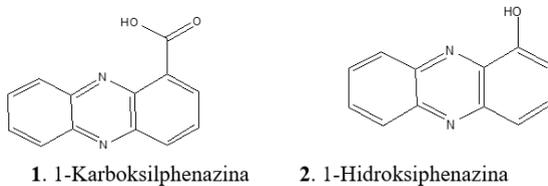
Gambar 5. Persentase Bahan Aktif Leukemia dari Biota Laut

3. HASIL IDENTIFIKASI STRUKTUR SENYAWA AKTIF

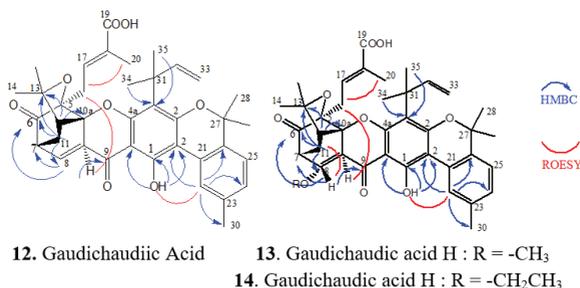
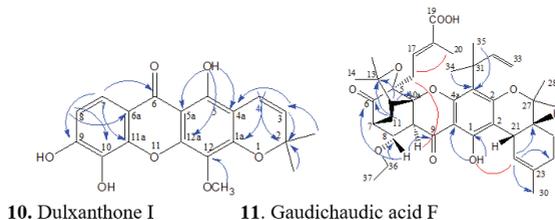
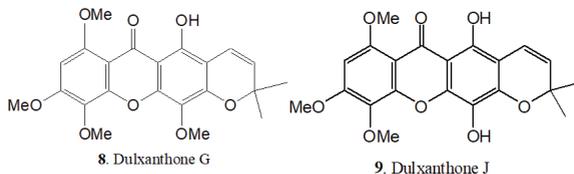
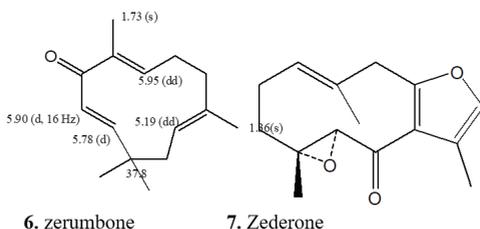
Dalam proses penemuan obat perlu dilakukan isolasi dan identifikasi senyawa aktif dengan melakukan proses pemurnian berdasarkan aktivitasnya terhadap sumber bahan baku obat, seperti tanaman dan mikroba. Setelah diketahui bahwa *lead compound*

atau hasil sintesis merupakan senyawa murni, selanjutnya diidentifikasi dengan bantuan instrumen analisis, terutama FT-NMR, spektrometri massa, dan kadang diperlukan X-ray kristalografi. Dengan perkembangan instrumen FT-NMR, kini sudah dapat mengidentifikasi struktur besar makrolida peptida siklik dalam jumlah nanomol¹⁰.

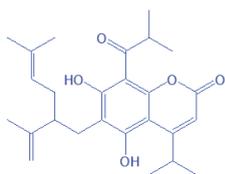
Berbagai penelitian telah dilakukan pada penemuan obat antikanker, antidiabetes, dan kardiovaskuler (antikolesterol). Pada penelitian penemuan antibiotika dari mikroba tanah dari *Pseudomonas pyocyanea*, melalui 1D (¹H, ¹³C) dan 2D-NMR (HMQC dan HMBC) telah diidentifikasi senyawa 1-karboksil phenazina (**1**) dan 1-hidroksil phenazina (**2**) mempunyai aktivitas sebagai antibakteri^{11, 12}. Kadangkala untuk menentukan struktur molekul perlu dilakukan proses reaksi, misalnya hidrolisis, guna menentukan apakah senyawa tersebut mempunyai struktur cincin delapan atau sembilan. Hasil hidrolisis UK-3A (**3**) menghasilkan senyawa (**4**) dan (**5**) sehingga struktur UK-3A mempunyai struktur cincin sembilan¹³.



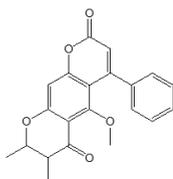
Potensi tumbuhan obat juga dilakukan skrining uji sitotoksik dan diidentifikasi zerumbone (**6**)¹⁴ dari lempuyang gajah (*Zingiber zerumbet*) dan zederone (**7**)¹⁵ dari koneng pinggang (*Curcuma purpurascens*). Pada kelompok manggis (*Garcinia*) juga dilakukan identifikasi, dari *G. nervosa* diisolasi dulxanthone G (**8**) dan J (**9**)¹⁶ dulxanthone I (**10**) dari *G. dulcis* serta Gaudichaudiic Acid F-I (**11–14**) dari *G. gaudichaudii*¹⁷. Masing-masing menunjukkan sitotoksik terhadap *Artemia salina brine shrimp* dengan nilai LC₅₀ 2,6; 6,6; 4,3 dan 11,3 µg/ml, dan sel kanker leukemia P388 dengan t IC₅₀ 4,6; 3,4; 2,0; 1,7 µg/ml.



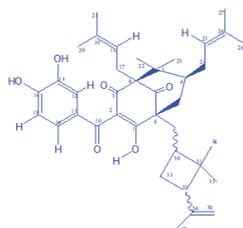
Selain itu telah diidentifikasi Jayapuracoumarin (**15**) dari *G. soulatri* yang aktif dalam menghambat pertumbuhan sel kanker dengan IC_{50} 0,64 (P388), 1,46 (L1210), 1,20 (Yashida sarcoma) dan 1,75 (HeLa) $\mu\text{g/mL}$, dan Azizcoumarine (**16**) dari *G. incrasaptum* juga aktif terhadap sel kanker dengan nilai IC_{50} 5,35 (L1210), 4,12 (Yashida sarcoma) dan 1,75 (HeLa) $\mu\text{g/mL}$ ¹⁸. Pada *G. picrorrhiza* telah diisolasi dan diidentifikasi senyawa baru Garcinopicrobenzopheno (**17**)¹⁹.



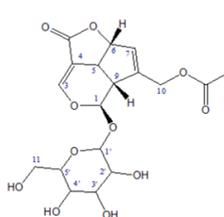
15. Jayapuracoumarin



16. Azizcoumarine

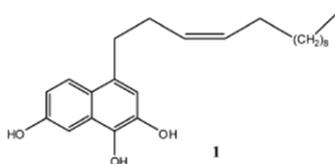
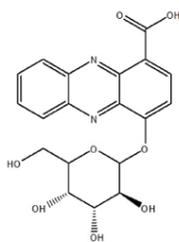


17. Garcinopicrobenzopheno

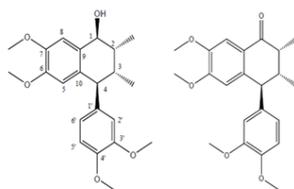
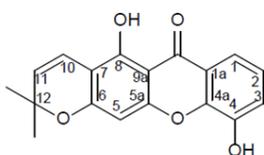


18. Asperuloside

Telah diisolasi senyawa aktif antikanker Asperuloside (**18**) dari tanaman *Hedyotis corymbosa* L²⁰. terhadap beberapa sel kanker yaitu YMB-1, HL60 and KB, berturut-turut dengan IC_{50} 0,7; 11,0 dan 104.2 $\mu\text{g/ml}$. Isolasi dan identifikasi dari mikroba endofitik *Streptomyces* sp. UICC B-92 dari inang *Nessia altissima*, suatu senyawa turunan phenazine glikosida (**19**) yang mempunyai aktivitas sebagai antibakteri²¹. Dari ekstrak daun Koordersiodendron pinatum Merr diisolasi senyawa baru (Z)-4-(Tetradec-3-enyl) naphthalene-1,2,7-triol (**20**) aktif dalam menghambat sel kanker P388 dengan IC_{50} 1,94 mM²². Pada buah *Garcinia latissima* Miq telah diisolasi dan diidentifikasi 6-Deoxyjacareubin (**21**) aktif sebagai antibakteri²³. Pada daun tanaman *Phoebe declina* telah diisolasi senyawa aristoligol dan aristoligon (**22-23**), yang aktif dalam menghambat sel kanker payudara MCF-7 dengan nilai IC_{50} <100 ppm²⁴.



19. 4-O-Glucosil, 1-karboksil-phenazin. **20.** Z)-4-(Tetradec-3-enyl)naphthalene-1,2,7-triol

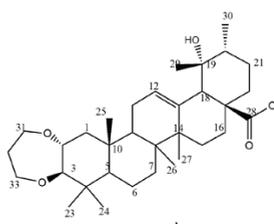
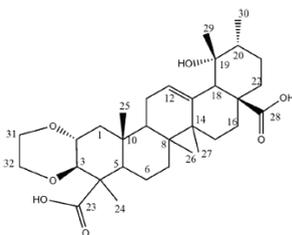


21. 6-Deoxyjacareubin

22. Aristoligol

23. Aristoligon

Selain itu, telah berhasil diidentifikasi senyawa aktif dari daun tanaman *Rubus fraxinifolius*, yaitu senyawa triterpenoid 2,3-O-ethyleneglycol, 19-hydroxyurs-12-en-23,28-dioat (**24**), dan 2,3-O-propandiol,19-hydroxyurs-12-en-23,28-dioic acid (**25**) aktif sebagai penghambat aktivitas enzim tirosinase dan elastase²⁵.



24

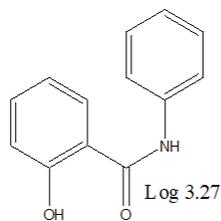
25

24. 2,3-O-ethyleneglycol, 19-hydroxyurs-12-en-23,28-dioat

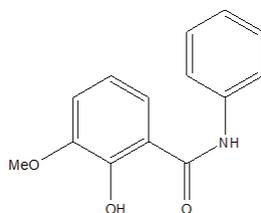
25. 2,3-O-propandiol,19-hydroxyurs-12-en-23,28-dioic acid

4. PENGEMBANGAN PENEMUAN OBAT BARU

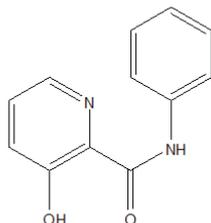
Setelah diidentifikasi *lead compounds*, tahapan selanjutnya dengan membuat senyawa analog dan turunannya. Senyawa 1-karboksilphenazina (**21**) yang diisolasi dari *Pseudomonas pyocyanea* menunjukkan aktivitasnya sebagai antibakteri dengan nilai IC_{50} 4.8 (*E. coli*), 0.07 (*S. aureus*) $\mu\text{g/ml}$ serta sitotoksik terhadap sel leukemia L1210 dengan IC_{50} 5,2 $\mu\text{g/ml}$. Senyawa analognya telah disintesis sebagai Phenoliklaktam A-D (**26–29**) juga mampu menghambat pertumbuhan sel kanker L1210, masing-masing dengan nilai IC_{50} 4,8; 5,5; 7,0 dan 5,2 $\mu\text{g/ml}$ serta telah dipatenkan dan dipublikasikan^{26–28}. (Hanafi dkk, 2000–2003).



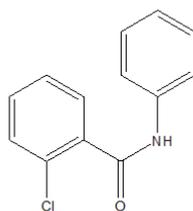
26. Salisil anilida



27. 3-Metoksisisalisanilida



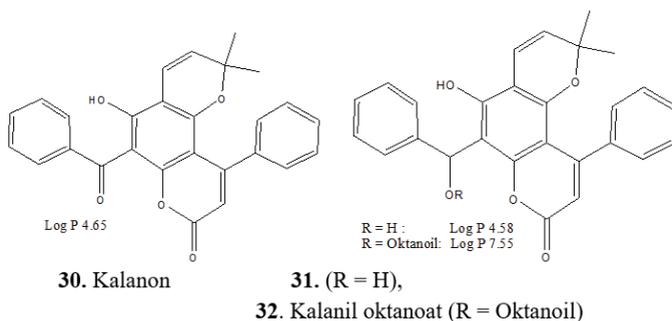
28 3-hidroksipikolinil anilida



29. 2-klorobenzoilanilida

Kalanon (**29**) yang diisolasi dari *Callophyllum soulatrii* diisolasi dalam jumlah cukup banyak, namun kurang menunjukkan aktivitasnya. Turunannya Kalanol (**30**), Kalanil oktanoat (**31**), kalanil phenil propionat, dan oksim kalanon tidak menunjukkan sitotoksiknya terhadap sel kanker L1210, namun kalanil oktanoat (**31**) yang mempunyai sifat sitotoksik terhadap sel kanker kolon HCT116 dan sel kanker leukemia P388 dengan IC_{50} 1,29 dan 7,5

mg/ml setara dengan *standard cisplatin* yang mempunyai IC_{50} 1,02 mg/ml terhadap HCT116^{29, 30}. Hasil tersebut sudah diperkirakan, karena menurut aturan Lipinsky antara lain nilai kepolaran/lopolifisitas Log P optimum sekitar 3, dan kulanil oktanoat mempunyai nilai Log P 2,32, sedangkan taxol nilai Log P 2,5.



Rancangan obat melalui parameter QSAR dan energi *docking* terhadap enzim HMG CoA *reductase* telah diprediksi dan disintesis dari Lovastatin (**32**) senyawa dehidrolovastatin (LIPIstatin, **33**) yang mempunyai aktivitas dalam menurunkan kadar kolesterol setara dengan Simvastatin (**34**) dan atorvastatin (AS)³¹⁻³⁴. Hasil sintesis diidentifikasi dan dikonfirmasi melalui pengukuran 1D dan 2D-NMR.

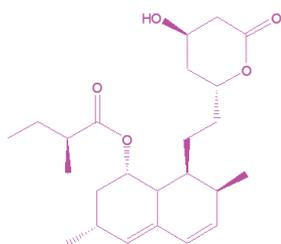
Tabel 1. Nilai Log P, Energi Interaksi Enzim HMGCo-A Reductase

No	Senyawa	Log P	Energi (kcal / mol)
1	Substrat HMG-CoA		-10,5055
2	LIPIstatin (DHL)	4,8	-9,9461
3	Simvastatin	5,73	-9,4825
4	Lovastatin	3,77	-8,8578
5	Butyryl lovastatin	4,92	- 9,91

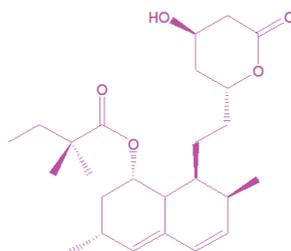
Tabel 2. Hasil Uji Aktivitas Antikolesterol pada Hewan Uji

No.	Group	Total cholesterol (mg/dL)	HDL-cholesterol (mg/dL)	Ratio
1	Normal	114.08	31.45	3.63
2	Hyperlipidemic control	168.95	14.74	11.46
3	AS	88.81	41.77	2.13
4	DLS 1	95.31	38.33	2.49
5	DLS 2	88.09	42.26	2.08

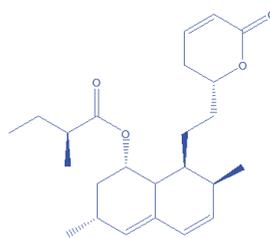
Ratio = (total cholesterol level) / (HDL-cholesterol level).



32. Lovastatin



33. Simvastatin



34. LIPIIstatin

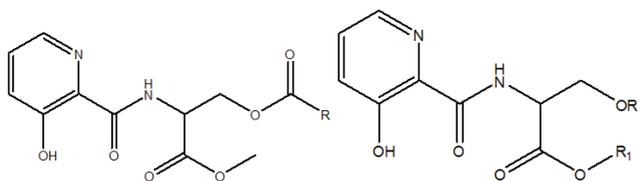
Tabel 3. Hasil Uji Aktivitas Simvastatin dan Dehidrolovastatin (Lipistatin) pada Tikus

Parameter	Normal control	Hiperlipidemic	Simvastatin (7,2 mg/ 200 g bw)	DHL (7,2 mg/ 200 g bw)	DHL (14,4 mg/ 200 g bw)
Total cholesterol (mg/dl) (%)	111,79	156,66	112,03 (28,49%)	106,64 (31,93 %)	105,54 (32,55 %)
Trigliseride (mg/dl), (%)	106,29	172,53	102,28 (40,72%)	103,85 (40,0%)	94,79 (45,06%)
LDL-cholesterol (mg/dl) (%)	32,34	72,99	30,23 (58,58%)	25,00 (65,75%)	28,77 (60,58%)
HDL-cholesterol (mg/dl), (%)	58,20	49,16	61,34 (24,77%)	60,87 (23,82%)	57,81 (17,60%)

Dalam pengembangan analog UK-3A telah dilakukan sintesis dan identifikasi lebih dari 40 senyawa, antara lain PSMOE (**35**), PSOE (**36**), PSOOE (**37**), PDBGE (**38**), PDPGE (**39**), PDOGE (**40**), NDBGE (**41**), NDHGE (**42**), NDOGE (**43**), NOA (**44**). SSMHE (**45**), SOA (**46**)³⁵⁻⁴¹.

Tabel 4. Hasil Uji Sitotoksik Senyawa UK-3A dan Analognya

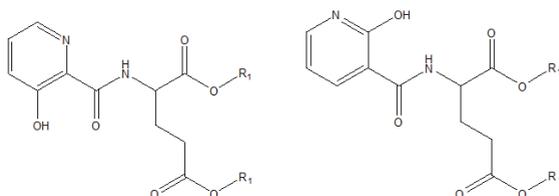
Senyawa	P388 ($\mu\text{g/ml}$)	KB ($\mu\text{g/ml}$)	YMB-1 ($\mu\text{g/ml}$)
3. UK-3A	38	20	-
35. PSMOE	15,4	69,52	5,28
36. PSOE	57	2,14	-
37. PSOOE	32	3,2	-
38. PDBGE	34	2,28	1,85
39. PDPGE	8,4	2,28	-
40. PDOGE	9,8	9,84	147
41. NDBGE	1,92	5,46	-
42. NDGHE	49,1	0,56	-
43. NDOGE	9,0	5,28	6,73
44. NOA	13,2	0,80	-
45. SSMHE	> 40	0,82	2,69
46. SOA	7,5	0,78	-



35. PSMOE : R = C₇H₁₅-

36. PSOE : R = H, R₁ = C₈H₁₇-

37. PSOOE : R = C₇H₁₅CO-, R₁ = C₈H₁₇-



38. PDBGE : R₁ = C₄H₉-

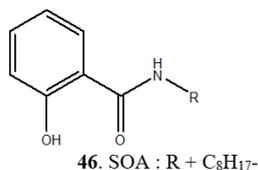
39. PDPGE : R₁ = C₃H₁₁-

40. PDOGE : R₁ = C₈H₁₇-

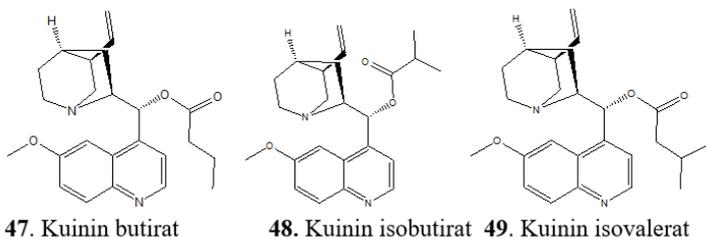
41. NDBGE : R = C₄H₉-

42. NDHGE : R = C₆H₁₃

43. NDOGE : R = C₈H₁₇



Berdasarkan hasil rancangan dan *docking* terhadap reseptor Glikoprotein hP-g, menunjukkan bahwa alkaloid kina dan turunannya menunjukkan afinitas. Hasil sintesis senyawa ini, yaitu kuinin butirrat (**48**), kuinin isovalerat (**49**), dan quinin isovalerat (**50**)⁴².



Hasil uji aktivitas terhadap sel kanker MCF-7 pada Tabel 5. menunjukkan aktivitas yang sangat kuat, lebih baktif dibandingkan Antimycin, sedangkan terhadap T47D cukup aktif terhadap sel kanker T47D.

Tabel 5. Hasil Uji Aktivitas Sel Kanker Payudara

Compounds	MCF-7 (IC ₅₀ in μM)	T47D (IC ₅₀ in μM)
Quinine	11.4130	8.8580
I	0.4059	6.5989
II	0.1902	5.4061
III	0.0367	3.4559
Antimycin		2.0620

5. PELUANG PENEMUAN OBAT BARU

Berdasarkan hasil penelitian tersebut di atas, yang telah dapat melakukan rancangan, uji *in silico* secara komputasi dengan *docking* terhadap beberapa reseptor, dan sintesis serta uji aktivitas baik *in vitro* maupun *in vivo*. Hasil sintesis menunjukkan beberapa senyawa potensial seperti dehidrolovatin sebagai obat antikoosterol. Senyawa analog UK-3A dan turunan kina cukup potensial untuk diuji lebih lanjut sebagai obat antikanker secara *in vivo*. Meskipun demikian, masih perlu dilanjutkan uji *in vivo* (praklinis) untuk melihat efektivitasnya dan keamanannya. Untuk itu, perlu adanya dukungan dari berbagai pihak sesuai kompetensi yang dibutuhkan. Tentu saja kerja sama dengan industri juga sangat diperlukan, khususnya bila dilakukan uji klinis. Dengan demikian, peluang untuk menghasilkan obat baru Indonesia dapat lebih mudah dan cepat terealisasi.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terima kasih atas pemberian Habibie Prize 2021 kepada keluarga alm. Prof. B. J. Habibie, Ketua Pengurus Yayasan SDM IPTEK, Bapak Prof. Dr.Ing. Wardiman Djojonegoro, Kepala BRIN Bapak Dr. Laksana Tri Handoko, dan Plt. Kepala LIPI Dr. Agus Haryono atas dukungannya.

Tak lupa saya panjatkan puji syukur Alhamdulillah atas capaian kinerja dalam melakukan penelitian dan berkarier selama ini. Tentu saja capaian tersebut berkat adanya kerja sama dan dukungan rekan-rekan peneliti, fasilitas, dan anggaran di institusi (LIPI), Kemenristek, JSPS, dan SATREPS-FKUI, serta kegiatan ICBG AP3-LIPI, perguruan tinggi, dan industri.

Kepada semua pihak, saya mengucapkan terima kasih. Semoga kita semua diberikan kemudahan dalam menjalankan tugas dan sehat selalu, *Aamiin Ya Rabbal Alamin*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mark SB. The role of natural product chemistry in drug discovery. *J. Nat. Prod.* 2004; 67: 2141–2153.
2. Arun B. Challenges in drug discovery. *J. Bioanal Biomed.* 2009; 1: 050–053.
3. Hanafi M., dkk. Rancangan obat berdasarkan struktur. Prosiding TOI; 2008.
4. David JN*, Gordon MC. Natural products as sources of new drugs over the last 25 years. *J. Nat. Prod.* 2007; 70, 461–477.
5. Walter M. *Comprehensive Medicinal Chemistry Vol. II, 2007 (Strategy And Drug Research)*
6. Sampurno. Kapabilitas teknologi dan penguatan R&D: tantangan industri farmasi Indonesia. *Majalah Farmasi Indonesia.* 2007; 18(4), 199–209.
7. Nontji. Indonesian potential in developing marine biotechnology. Dalam *Proceedings on The First Indonesian Seminar on Marine Biotechnology*; 1996.
8. Fachruddin MM. *Bioteknologi berbasis kekayaan hayati.* 2009.
9. Doralyn S. et al., Structure Elucidation at the Nanomole Scale use superconducting microcryoprobe 1. Trisoxazole Macrolides and Thiazole-Containing Cyclic Peptides from the Nudi-branch *Hexabranchnus sanguineus.* *J. Nat. Prod.* 2009; 72, 732–738.
10. Gordon MC, David JN, Stringner SY. Natural product extracts of plant and marine origin having antileukemia potential. The NCI Experience. *J. Nat. Prod.* 2006; 69: 488–498.
11. Hanafi, M., et al. Isolasi Senyawa Aktif Antibakteri dari Mikroba Tanah. Prosiding: Seminar Nasional IX Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 21–22 Nov. 2000
12. Hanafi M, Linar ZU, Tjandrawati, Zaenudin, Kardono LBS, dan Tjahjana RH. Potensi 1-karboksil-phenazina sebagai antibio-

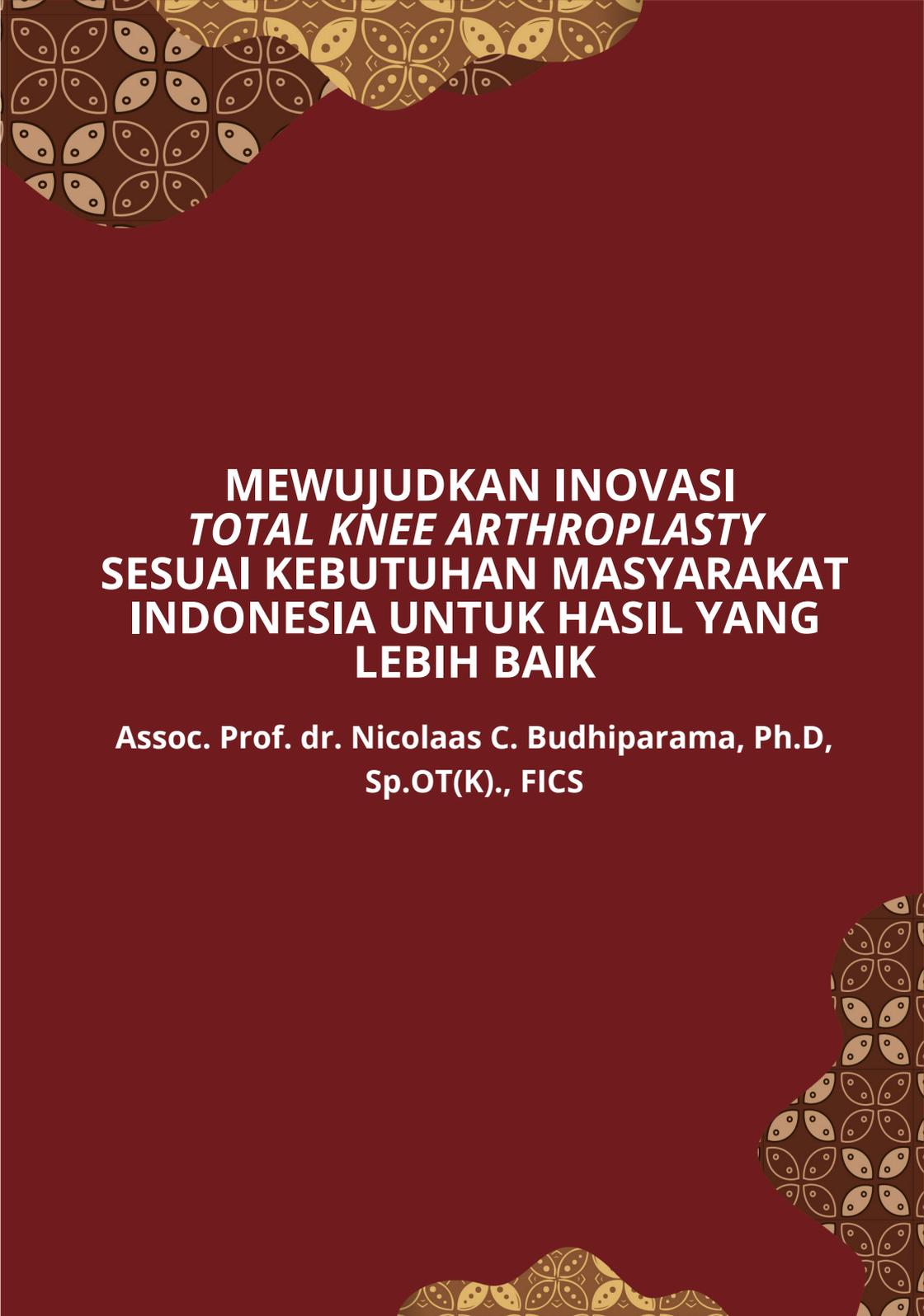
- tika dari mikroba tanah *Pseudomonas pyocyanaea*. Prosiding SemNas. Tantangan Penelitian Kimia, LIPI Jakarta; 17 September 2002.
13. Hanafi M. Analisa konformasi struktur molekul UK-2 dan UK-3. Prosiding Seminar Nasional VII, Kimia dalam Industri dan Pembangunan, Yogyakarta; 5-6 Mei 1998.
 14. Hanafi M, Sutedja L, Mulder R, Braybook C. Isolation and identification of chemical constituent from the rhizome of *Zingiber zerumbet*. 1 International Seminar on Natural Products Chem. and Utilization of Natural Resources, UNESCO-UI, Depok; 5-7 Juni 2001.
 15. Hanafi M, Linar ZU, Mulder R, Braybook C. Purpurasceno: a chemical constituents isolated from the rizome of *Curcuma purpurazcens* Bl. International Seminar on Natural Products Chem. and Utilization of Natural Resources, UNESCO-UI, Depok; 5-7 Juni 2001.
 16. Hanafi M, Kardono LBS. Isolation and structure elucidation, dulxanthone G and J from n-Hexane extract of *Garcinia nervosa* Bark. Seminar Nasional XI, Yogyakarta; 6-7 November 2001.
 17. Hanafi, M, Kardono LBS, Kosela S, Fitri E, Yu YJ, Yip SC, Goh SH, Sim KY. Elucidation and cytotoxic test, gaudichaudiic acid F-G from *Garcinia gaudichaudii* (Guttiferae) Bark. The Fourth International Wood Science Symposium. Kawasan Puspiptek, Serpong; 2-5 September 2002.
 18. Jamilah. Isolasi dan penentuan struktur senyawa kimia serta uji aktivitas biologi kulit batang marga *Calophyllum* spp. Disertasi Program Pascasarjana Kimia FMIPA UI, 2008.
 19. Atiek S. Isolasi dan penentuan senyawa kimia serta uji aktivitas biologi dari buah tanaman *Garcinia dulcis* Kurz dan kulit batang serta akar *Garcinia picorrhiza* Miq. Disertasi Program Pascasarjana FMIPA UI, 2007.
 20. Artanti N, Hanafi M, Andriyani R, Saraswati V, Udin Z, Lotulung PD, Fujita KI, Usuki Y. Isolation of an anticancer asperuloside

- from *Hedyotis corymbosa* L. J. of Tropical Life Science. 2015; 5(2): 88–91.
21. Pratiwi H, Hidayat I, Hanafi M, Mangunwardoyo W. Isolation and structure elucidation of phenazine derivative from *Streptomyces* sp. strain UICC B-92 isolated from *Neesia altissima* (Malvaceae). Iranian Journal of Microbiology. 2020; 12(2): 127–147.
 22. Sofa F, Hanafi M, Darmawan A, Megawati, Puspa D. Senyawa baru (Z)-4-(Tetradec-3-Enil) Naftalena-1,2,7-Triol sebagai calon obat kanker leukemia. P00201911830, 13 Desember 2020.
 23. Ambarwati NSS, Elya B, Malik A, Artha Y, Ahmad I, Azminah A, Hanafi M, Omar H. Isolation and antibacterial activity by in vitro and in silico approach of 6-Deoxyjacareubin compound from *Garcinia latissima* Miq. Fruit. Indonesian Journal of Chemistry (IJC). 2020; 20(4): 773–78.
 24. Rosmalena R, Prasasty VD, Yazid F, Budiarto E, Elya B, Lotulung P, Omar H, Hanafi M. Isolation, identification and synthesis of neolignans from *Phoebe Declinata* Leaves: molecular modeling and anticancer evaluation. Systematic Reviews in Pharmacy. 2021; 12(1): 1129–1141.
 25. Desmiaty Y, Hanafi M, Saputri FC, Elya B, Rifai EA, Syahdi RR. Two triterpenoids from *Rubus fraxinifolius* leaves and their tyrosinase and elastase nature portfolio. Tahun?
 26. Hanafi M, Linar ZU, Kardono LBS, Tjandrawati, Zaenudin. Sintesis senyawa antibiotika fenoliklaktam A-D dan uji sitotoksik sel leukemia L1210. Lokakarya dan Seminar Nasional Pengembangan dan Pemanfaatan Obat dari Bahan Tumbuhan, UN-DIP, Semarang; 17–18 Juni 2003.
 27. Hanafi M, Linar ZU, Tjandrawati M. Isolasi dan elusidasi struktur senyawa antibiotika turunan penazina dari mikroba tanah, *Pseudomonas pyocyanea*. Prosiding Seminar Nasional VI, Kimia dalam Pembangunan, JASA KIAI, Yogyakarta; 8–9 April 2003.

28. Udin LZ, Djaenudin, Tjandrawati M, Hanafi M, Kardono LBS. Studi biosintesis antibiotika dari bakteri *Pseudomonas pyocyanea* pada berbagai konsentrasi ekstrak ragi. Prosiding Seminar Nasional IX Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta; 21–22 November 2000.
29. Hanafi M, et al. Reduksi, esterifikasi kаланon dan uji aktivitas biologi. Prosiding Seminar Nasional XI, Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta; 6–7 November 2001.
30. Hanafi M, Hartati S, Hazani M. Sintesis dan uji sitotoksik sel L1210 senyawa kаланon dan turunannya. Seminar Nasional V, Kimia dalam Pembangunan, Yogyakarta; 26–27 Maret 2002.
31. Hanafi M, Putra AMJ, Ngadiman, Sundowo A, Nafiyanto I, Nugroho A, Sonjaya S. Syntheses of lovastatin-based esters for anticholesterol drugs. Proceeding of National Seminar, ITS Surabaya; 10 Agustus 2004.
32. Hanafi M, Anita Y, Putra AMJ, Angelina M, Sofna DSB, Dewijanti ID. Potensi lipistatin untuk meningkatkan kadar HDL kolesterol darah. Seminar Pemaparan Hasil Litbang IPT–LIPI, Bandung; 31 Maret 2008.
33. Banjarnahor, Sofna DS, Hanafi M, Anita Y, Angelina M, Dewiyanti ID, Azizahwati. Hypolipidemic activity of lovastatin derivative compound in Hypercholesterolemic Spargue Dawley Rats. The International Conference on Traditional Medicine and Medicinal Plants, Surabaya; 7–9 September 2007.
34. Angelina M, Anita Y, Andianopsyah MJP, Dewi I, Hanafi M. Comparative study of anticholesterol activity dehidrolovastatin with atorvastatin in Rats. Journal of Applied Pharmaceutical Science. 2012; 02(03): 14–16.
35. Hanafi M, Saefudin E, dkk. Optimasi pembentukan 2-hidroksibenzoil oktill amida dan uji aktivitas biologi terhadap mikroba patogen. Prosiding Seminar Nasional VIII, Kimia dalam Industri dan Pembangunan, Yogyakarta; 16–17 November 1999.
36. Hanafi M, Saefudin E, dkk. Sintesis dan Uji Aktivitas Biologi Senyawa Analog Antibiotika UK-3, 3-Hidroksipikolinil Dialkil

- Ester dan 2-Hidroksinikotinil dialkil glutamat ester. Seminar National Seminar of Natural Products Chemistry'99. Dept. of Chemistry, Faculty of Science, University of Indonesia, Depok, November 16–17, 1999.
37. Hanafi, M., AMJ Putra, et al. Synthesis of 2-hydroxy-n-phenyl-benzamide tested on HCT116 cancer cells. Proceeding of National Seminar, Chemistry and Education 2004, Semarang, Fac. of Sciences, Univ. of Semarang, 9 Oktober 2004.
 38. Anita Y, Hanafi M, Putra AMJ, Arifin S, Usuki Y, Iio H. Synthesis of UK-3A analogue and assay on P388 murine leukemia cells. International Seminar, Biology, Chemistry, Pharmacology, and Clinical Studies of Asian Plants, UNAIR-Surabaya; April 2007.
 39. Anita Y, Hanafi M, Putra AMJ, Ridwanuloh AM, Usuki Y, Iio H. Synthesis and cytotoxicity assay on P-388 murine leukemia cells of-hydroxybenzoyl serine derivative of UK-3A analogues. Proceeding of The Henk Timmerman International Seminar on Pharmacochimistry; 2007.
 40. Anita Y, Hanafi Y, Putra AMJ, Arifin S, Usuki Y, Iio H. Synthesis of UK-3A analogue and assay on P-388 murine leukemia cells. Indonesian Journal Chemistry. 2007; 7(2). ISSN 1411-9420.
 41. Arsianti A, Hanafi M, Saepudin E, Morimoto T, Kakiuchi K. Synthesis and biological activity test of antibiotic UK-3 analogues, 2-hydroxynicotinyl-butyl-serine-ester and its derivatives. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. Accepted on line 2 Juni 2010.
 42. Hanafi M, Udin Z, Puspa DL, Gian P, Anita Y, Andini S, Nina A, Prasasti VD, Rosmalena, Ida R. Alkaloid sinkona dan turunannya untuk calon obat antikanker. 2016. P00201605627.





**MEWUJUDKAN INOVASI
TOTAL KNEE ARTHROPLASTY
SESUAI KEBUTUHAN MASYARAKAT
INDONESIA UNTUK HASIL YANG
LEBIH BAIK**

**Assoc. Prof. dr. Nicolaas C. Budhiparama, Ph.D,
Sp.OT(K)., FICS**

MEWUJUDKAN INOVASI TOTAL KNEE ARTHROPLASTY SESUAI KEBUTUHAN MASYARAKAT INDONESIA UNTUK HASIL YANG LEBIH BAIK

**Assoc. Prof. dr. Nicolaas C. Budhiparama, Ph.D,
Sp.OT(K)., FICS**

*Disampaikan dalam Acara Penganugerahan Habibie Prize,
Jakarta, November 2021.*

INOVASI DALAM PELAYANAN, PENELITIAN, DAN PENDIDIKAN UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING GENERASI MUDA INDONESIA

Sejak awal berdirinya negara Republik Indonesia, para pemimpin bangsa ini telah bercita-cita untuk menjadikan Indonesia sebagai negara yang merdeka, mandiri, makmur, dan disegani. Cita-cita mulia ini bagaikan tongkat estafet yang diteruskan dari pendahulu kita kepada kita. Sebagai generasi penerus yang menerima tanggung jawab ini, kita tentunya ingin agar cita-cita ini tercapai untuk kebaikan generasi selanjutnya, anak dan cucu kita. Salah satu cara untuk menjadikan bangsa ini besar dan disegani adalah dengan cara meningkatkan kemampuan, kemandirian, dan daya saing di level dunia. Pada kesempatan yang berbahagia ini, ijin kami untuk mencurahkan sedikit pandangan dan pikiran kami dalam usaha untuk menjadikan negeri ini, khususnya generasi muda, menjadi negeri dan manusia yang makin mandiri dan disegani, khususnya di bidang kesehatan dan bioteknologi.

DAYA SAING GLOBAL DAN INDEKS DAYA SAING GLOBAL INDONESIA

Global competitiveness index (GCI) atau indeks daya saing global adalah suatu indeks yang mengukur kemampuan dan perkembangan faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas dan daya saing suatu negara. Di era Revolusi Industri 4.0 ini, daya saing suatu negara di level global sudah menjadi keharusan. Adapun in-

deks daya saing global ditentukan oleh sembilan pilar antara lain adalah bidang kesehatan (pilar kelima) dan bidang keterampilan sumber daya manusia (pilar keenam). Pembangunan kesembilan pilar yang baik akan menciptakan daya saing global yang tinggi [86]. Peringkat indeks daya saing global Indonesia menurut laporan World Economic Forum (WEF) berada di posisi 50 dari 141 negara pada tahun 2019 [87]. Peringkat ini merupakan indikator penanda kesiapan bangsa kita untuk bersaing di level global. Peringkat ini tentunya masih bisa ditingkatkan dengan usaha kolektif kita di bidang masing-masing. Inovasi-inovasi di berbagai bidang akan mampu mendongkrak daya saing global negeri ini menjadi lebih tinggi lagi. Di bidang kedokteran dan kesehatan, usaha yang bisa dilakukan meliputi bidang: pelayanan, penelitian, dan pendidikan.

PERKEMBANGAN PENGETAHUAN KHUSUSNYA DI BIDANG DEGENERATIF SENDI

Pada kesempatan ini kami juga ingin berbagi pengalaman kami agar bisa menjadi motivasi bagi generasi muda supaya terus bersemangat dalam mencari ilmu. Generasi muda kita haruslah menjadi insan yang kritis, berdaya pikir tajam, dan termotivasi untuk selalu mencari kebenaran ilmiah dengan menjunjung tinggi etika. Semangat seperti ini yang mendorong kami untuk terus belajar dan meneliti. Setelah memulai memperkenalkan berbagai teknik operasi di bidang osteoarthritis, keinginan untuk selalu meningkatkan kepuasan pasien terus mendorong untuk mencarikan solusi terbaik untuk pasien di Indonesia sehingga ketertarikan ini memotivasi kami untuk meneliti lebih dalam tentang OA sebagai disertai kami di dua institusi. Kami mengikuti program doctoral di dua institusi yaitu Leiden University di Belanda dan Universitas Gadjah Mada di Yogyakarta.

INOVASI TOTAL KNEE ARTHROPLASTY SESUAI KEBUTUHAN MASYARAKAT INDONESIA UNTUK HASIL YANG LEBIH BAIK

Total Knee Arthroplasty (TKA) merupakan pilihan terapi utama pada osteoarthritis lutut stadium akhir ¹⁻³, dengan tingkat kepuasan antara 75%-89% ³⁻⁷ pada hasil operasinya. Beberapa faktor berkontribusi pada hasil akhir dari TKA, antara lain : kondisi lutut sebelum

dilakukan operasi seperti tingkat keparahan dari osteoarthritis, faktor yang berkaitan dengan pembedahan seperti implan, teknik pembedahan, terjadinya komplikasi saat pembedahan, faktor yang berhubungan dengan pasien seperti tingkat fungsional pasien pada saat pre-operatif maupun post-operatif serta ekspektasi pasien pada hasil akhirnya.

Sebagai penyakit yang paling sering diterapi dengan TKA, *osteoarthritis* (OA), adalah bentuk *arthritis* dan penyakit sendi kronis yang paling umum. Penyakit ini merupakan sebuah kelainan sendi yang multifaktorial, inflamatif dan degeneratif, yang ditandai dengan degenerasi pada kartilago artikular, peradangan intra-artikular dengan sinovitis, dan perubahan pada tulang peri-artikular serta subkondral. OA memiliki patogenesis yang kompleks yaitu kombinasi dari faktor genetik, faktor metabolisme dan faktor lokal. Patogenesis OA saat ini telah bergeser dari konsep klasik karena faktor usia, menjadi penyakit yang multifaktorial⁸⁻¹¹. Prevalensi osteoarthritis dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti usia, jenis kelamin, ras, gaya hidup, obesitas, pekerjaan, dan genetik. Diprediksi bila penduduk Indonesia yang diproyeksikan meningkat menjadi 268 juta penduduk pada tahun 2020 berdasarkan survei regional di Indonesia, maka 36% dari populasi berpotensi menjadi pasien penderita osteoarthritis, asam urat, atau masalah tulang belakang¹², namun saat ini data nasional kejadian dan prevalensi osteoarthritis lutut di Indonesia belum tersedia. Menurut WHO, prevalensi osteoarthritis lutut di seluruh dunia adalah 10% pada pria dan 18% pada wanita yang lebih tua dari 60 tahun.

Sitokin memainkan peran penting dalam ekspresi osteoarthritis. Dalam hal ini, sekresi *tumor necrosis factor alpha* (TNF- α) dan *interleukin-1 β* (IL-1 β), bentuk aktif IL-1, jumlahnya meningkat selama proses peradangan pada tulang rawan yang terkena OA dan sel synovial⁵. Saat ini terdapat konsep yang mendefinisikan OA sebagai penyakit genetik dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Dalam hal ini, 65% OA radiografi lutut dapat dikaitkan dengan beberapa interaksi gen^{8,13}. Gen yang terlibat dalam OA termasuk kode gen untuk vitamin D dan reseptornya (VDR), enzim iodothyronine-deiodinase tipe 2 (DIO2), kolagen tipe II (Col2A), *insulin-like growth factor-1* (IGF-1), *transforming growth factor beta* (TGF- β), reseptor

estrogen (ER α), dan genetik lainnya yang masih dalam penelitian dengan GWAS (*Genome-Wide Association Studies*). Namun, karena faktor lingkungan memiliki dampak besar pada perkembangan OA, penelitian tentang *single-nucleotide polymorphisms* (SNP) menjadi area fokus untuk agen farmakologis. Tujuan penelitian untuk PhD kedua saya yang sedang berlangsung di Universitas Gadjah Mada adalah untuk menganalisis hubungan dan insidensi antara polimorfisme genetik IL-1R1 dan IL-1RN dengan risiko OA lutut primer pada penduduk Indonesia dan faktor-faktor yang terkait. Oleh karena itu, pengobatan OA harus bersifat holistik dan harus ditangani dalam strategi *step-care*, dimulai dengan pengobatan konservatif menggunakan intervensi nonfarmakologis (olahraga, diet, dll.)^{4,15} maupun farmakologis. Sebagai upaya terakhir, TKA dapat digunakan sebagai pengobatan OA lutut stadium akhir¹⁶

Pasien OA biasanya datang dengan keluhan nyeri yang membatasi aktivitas sehari-hari, karenanya terapi difokuskan pada pengurangan nyeri. Pilihan obat pertama adalah Acetaminophen, NSAID, dan inhibitor COX-2¹⁷⁻¹⁸. Obat lain, seperti glukosamin sulfat dan kondroitin sulfat diklaim memiliki efek pada nyeri dan penyempitan ruang sendi, tetapi pada penelitian *randomised control trial* dengan plasebo tidak menunjukkan efek¹⁹⁻²⁰. Injeksi steroid digunakan untuk mengobati peradangan sendi aktif lokal tetapi tidak menunjukkan perbaikan fungsional²¹. Terapi farmakologis OA yang terkini berfokus pada penurunan progresi OA. Doxycycline Oral, Strontium ranelate, Cathepsin K inhibitor, Calcitonin, obat anti-enzim seperti estrogen, PTH dan analog dari *Bone Morphogenic Protein* (BMP), Sprifermin masih dipelajari. Selain itu, agen anti-inflamasi terhadap IL-1, IL-6, dan TNF- α belum menunjukkan efek yang signifikan dalam terapi OA²²⁻²³.

FAKTOR YANG TERKAIT PEMBEDAHAN UNTUK HASIL AKHIR TOTAL KNEE ARTHROPLASTY

Terapi pembedahan dapat dipertimbangkan untuk OA lutut stadium lanjut, termasuk osteotomi di sekitar lutut, prosedur distraksi sendi, *unicondylar knee arthroplasty*, dan *total knee arthroplasty* (TKA)²⁴. Di Indonesia diperkirakan terjadi peningkatan operasi TKA karena beberapa faktor:

- 1) Peningkatan populasi yang menua, harapan hidup rata-rata saat ini adalah 69 tahun²⁵
- 2) Sejak tahun 2016, cakupan jaminan kesehatan nasional sudah mencakup prosedur TKA.
- 3) Peningkatan pendidikan dan pelatihan ahli bedah ortopedi di bidang artroplastik lutut melalui beasiswa Indonesian Hip & Knee Society dari 2 orang per tahun menjadi 20 orang per tahun.

Banyak faktor yang berkontribusi pada luaran TKA seperti keparahan OA dan deformitas lutut pra operasi serta faktor terkait implan seperti pemasangan implan yang optimal dan koreksi bedah terhadap deformitas. Beberapa teknik pembedahan dan jenis implan dirancang untuk meningkatkan kepuasan dan fungsionalitas pasien. Berbagai macam teknik bedah yang berbeda tersedia untuk mencapai hasil yang optimal untuk TKA. Pemosisian implan yang optimal diklaim dapat dicapai dengan navigasi yang dibantu oleh komputer dan *patient specific instrumentation* (PSI), baru-baru ini navigasi berbasis akselerometer telah ditambahkan untuk meningkatkan pemosisian TKA²⁶⁻²⁹. Ketahanan implan (revisi *end-point*) dapat dipengaruhi oleh desain implan³⁰⁻³², kesesuaian implan lutut dengan anatomi lutut pasien terkait dengan umur implan³³ dan kesesuaian implan lutut dengan anatomi lutut pasien terkait dengan umur implan³³. Menariknya, komponen lutut yang *overhang* atau *underhang* tidak selalu menyebabkan kerusakan yang lebih parah pada luaran yang dilaporkan pasien³³⁻³⁵.

Faktor terkait pasien didasarkan pada kemampuan pasien untuk mengatasi keluhan lutut pra operasi, persepsi nyeri pasca operasi dan interaksi dengan ahli bedah ortopedi. Dengan demikian, entitas yang kompleks, yang akan berbeda dalam konteks sosial budaya yang berbeda. Kepuasan pasien merupakan alat yang sangat penting untuk mengukur keberhasilan TKA, apakah prosedur telah mencapai tujuan TKA dalam menghilangkan rasa sakit dan memulihkan fungsi. Keberhasilan operasi secara teknis dalam perspektif ahli bedah mungkin tidak sama dengan persepsi pasien mereka, dalam hal ini, operasi yang berhasil menurut standar ahli bedah dapat dianggap sebagai kegagalan dalam

perspektif pasien³⁶. Kepuasan pasien dikaitkan dengan harapan pasien pra operasi, hasil fungsional, kesehatan mental dan komorbiditas pada tingkat yang lebih rendah. Faktor yang paling penting dikaitkan dengan kepuasan pasien adalah harapan pasien dan kesehatan mental sedangkan prediktor yang paling signifikan untuk ketidakpuasan adalah rasa sakit, pesimisme, kredibilitas pengobatan, dan harapan pengobatan^{37,42}. Oleh karena itu, area fokus penelitian dalam dekade terakhir lebih menekankan pada hasil yang dilaporkan pasien (*patient-reported outcome* (PRO) dan bagaimana memediastinya, juga hasil analisis dokter dan analisis gait⁴³. Selama ini, kesuksesan TKA dinilai dari ada tidaknya *implant failure* yang dinilai dari ketahanan implan³⁶, komplikasi post operatif, morbiditas, serta mortalitas⁴⁴. Kriteria tersebut dianggap sebagai sasaran objektif dari sudut pandang ahli bedah⁴⁵. Pendekatan modern untuk pengukuran luaran telah bergeser ke arah kriteria yang lebih subjektif, yang didasarkan pada persepsi pasien, peningkatan kualitas hidupnya sebagai perubahan paska operasi TKA.⁴⁴ Pendapat pasien tentang hasil terapi sangat penting ketika mengevaluasi keberhasilan prosedur TKA.^{38,40,41,46} *International Consortium for Health Outcomes Measurement*(ICHOM) telah menerbitkan laporan konsensus yang mendefinisikan serangkaian ukuran hasil standar internasional untuk pasien dengan osteoarthritis pinggul atau lutut yang dapat digunakan secara luas untuk memantau, membandingkan, dan meningkatkan perawatan kesehatan pada luaran yang paling penting bagi pasien. Dalam menilai pengukuran hasil, ICHOM memasukkan satu set standar yang terdiri dari status kesehatan yang dilaporkan pasien, luaran pembedahan, dan perkembangan penyakit. Saya adalah salah satu dari 23 anggota komite eksklusif ICHOM yang merupakan kerjasama antara *The Boston Consulting Group* dan *Harvard Business School*.

Beberapa penulis^{38,39,41,47} mempelajari faktor-faktor prediktif untuk luaran dari TKA dan menunjukkan bahwa skor fungsional preoperatif, pengukuran secara radiologis dari *grade* OA dan sudut femorotibial diasosiasikan dengan skor fungsional postoperatif^{38,39,41,47}. Studi lain dari Matsuda menunjukkan bahwa intervensi bedah sendiri, seperti untuk menghindari *varus alignment* dan mendapatkan *range of motion* (ROM), meningkatkan kepuasan

pasien dan dengan demikian memenuhi harapan pasien pra operasi³⁸. Ketidakpuasan pasien biasanya terkait dengan rasa sakit yang masih dirasakan, hasil yang kurang fungsional atau harapan pra-operasi pasien yang tidak terpenuhi^{49,50} Faktor terpenting yang menentukan hasil yang baik dari TKA adalah hasil akhir^{37,39,40,51} Faktor terpenting penyebab ketidakpuasan pasien adalah nyeri pasca operasi yang sebagian besar berhubungan dengan lutut bagian anterior (anterior knee pain -AKP). Insidensi AKP adalah 20%^{31,50} dan bersumber multifaktorial meskipun terdapat 40 – 58% yang terletak di sendi patellofemoral.

Beberapa faktor terkait pasien yang dijelaskan di atas, seperti keluhan lutut sebelum operasi dan persepsi nyeri pasca operasi, memiliki beberapa perbedaan mendasar antara latar belakang sosial budaya yang berbeda. Ras Asia lebih sering jongkok dan berlutut daripada populasi Barat⁵². Sebagai negara berpenghasilan rendah hingga menengah, masyarakat Indonesia memiliki latar belakang sosial ekonomi rendah yang dapat mempengaruhi status pra operasi pasien, yang pada gilirannya menentukan kepuasan subjektif mereka setelah dilakukan TKA⁵³. Dalam studi multi-pusat retrospektif kolaboratif dengan ahli bedah terkenal dari Rumah Sakit Bedah Khusus di AS, peneliti menyelidiki dan membandingkan 76 pasien Asia dengan 64 pasien dilakukan penggantian lutut total (TKR), studi kohort Amerika Utara⁵⁴, Secara demografi, pasien dicatat dan dibandingkan antara hasil (KSS, PAQ, WOMAC), rentang gerak lutut (ROM), dan posisi komponen radiografi. Studi kami menemukan bahwa pasien Asia memiliki skor hasil pra operasi yang lebih buruk secara signifikan, baik pada skor nyeri, skor fungsi, dan rentang gerak lutut tetapi hasil pasca operasi sedikit lebih baik untuk pasien Asia dibandingkan dengan pasien Amerika Utara. Perbedaan budaya dan sosial (yaitu akses perawatan kesehatan) mungkin menjadi pendorong baik dalam pra operasi maupun persepsi pasca operasi dari hasil (hasil yang dilaporkan pasien) serta fungsi (kebutuhan lutut untuk fleksi maksimal selama berkegiatan sosial). Dari kedua aspek tersebut, budaya dan sosial harus diperhitungkan ketika membandingkan hasil artroplasti elektif antara negara yang berbeda.

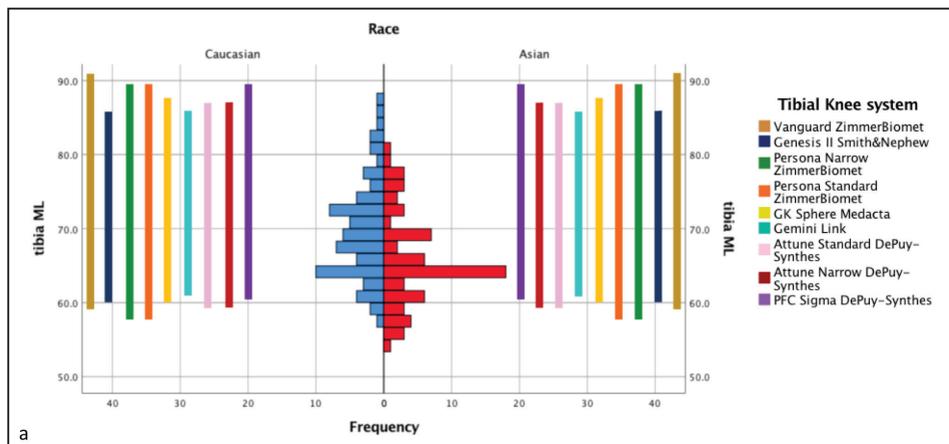
Salah satu faktor terkait pasien yang dapat mempengaruhi hasil TKA adalah perbedaan ras pada antropometri lutut. Orang Asia dikenal memiliki lutut yang lebih kecil dibandingkan dengan non Asia. Karena sebagian besar sistem TKA didasarkan pada anatomi ras Kaukasia, pemasangan implan bisa menjadi masalah besar bagi orang Asia. Penting untuk mengevaluasi perbedaan kecocokan implan di Asia dibandingkan dengan Ras Kaukasia, untuk mendorong kebutuhan sistem TKA berdasarkan antropometri lutut Asia. Perbedaan anatomi ini dapat mempengaruhi tujuan penyelarasan dan pemotongan tulang intraoperatif. Pada akhirnya, penyesuaian penempatan komponen juga tergantung pada antropometri lutut. Meskipun antropometri lutut mungkin tidak secara langsung terkait dengan hasil fungsional, tetapi ketidakcocokan komponen atau ketidakcocokan tulang implan terkait dengannya. Temuan terpenting dari penelitian kami sebelumnya adalah bahwa pasien Asia memiliki lutut dengan dimensi AP dan ML yang lebih kecil dari femur distal dan tibia proksimal. Pasien Asia, rata-rata, 6% lebih pendek dari pasien Kaukasia dan memiliki dimensi femoralis distal dan tibialis proksimal yang lebih kecil. Ini menunjukkan bahwa untuk mendapatkan kecocokan yang optimal, sistem lutut harus tersedia dalam rentang ukuran yang lebih luas (yaitu, ukuran yang lebih kecil) sesuai dengan temuan dari penelitian sebelumnya⁵⁵. Namun, lutut Asia juga memiliki rentang dimensi yang luas, bahkan dengan rasio ML/AP yang lebih tinggi daripada lutut Kaukasia. Ini menekankan bahwa perbedaan bentuk lutut antara kedua kelompok ada, yang didukung oleh penelitian sebelumnya⁵⁶ Namun demikian, ini juga menggarisbawahi bahwa ketidakcocokan tercipta ketika desain prostesis lutut total hanya didasarkan pada sejumlah kecil ras Kaukasia. Keberhasilan TKA jangka panjang tergantung pada kecocokan optimal antara prostesis dan tulang yang direseksi. Oleh karena itu, dimensi yang berbeda dari desain lutut harus digunakan pada pasien Asia untuk mengoptimalkan kinerja biomekanik dari sendi lutut buatan. Selain itu, lutut wanita cenderung lebih kecil lebarnya daripada lutut pria, yang konsisten dengan hasil penelitian lain yang dipublikasikan⁵⁷⁻⁵⁹. Selain pemasangan implan, fenotipe lutut fungsional juga berdampak pada hasil lutut, karena penyelarasan implan memengaruhi reseksi tulang intraoperatif. Oleh karena itu, mereka

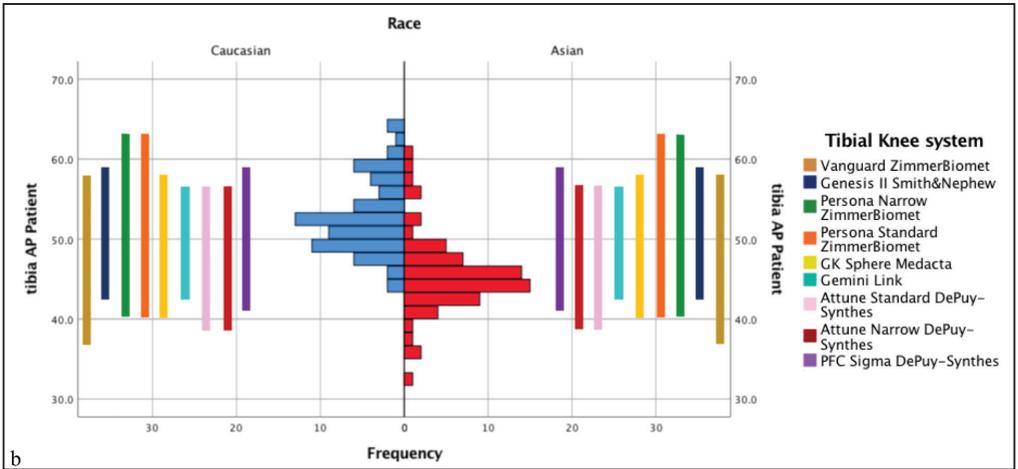
akan mempengaruhi dimensi AP dan ML distal femoralis dan tibialis proksimal pasien, ukuran implan, dan kecocokan tulang implan selama TKA⁶⁰. Ketika keselarasan mekanis fenotipe dan kinematik terbatas digunakan, kompartemen medial atau lateral mungkin meningkat bahkan dalam komponen yang berukuran normal. Ini juga akan menyebabkan ketegangan yang berlebihan pada kapsul dan ligamen, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kekakuan lutut atau nyeri lutut pasca operasi yang tidak dapat dijelaskan.

Rentang rata-rata FiTd adalah 8-11 dan 9-12 mm untuk ras Kaukasia dan Asia. Namun, karena komponen tibialis terkecil tidak dapat memuat lutut Asia yang terkecil, reseksi bagian kepala fibula akan diperlukan untuk mengakomodasi komponen tibialis yang jauh lebih besar⁶¹. Mirip dengan temuan penelitian kami, Havet et al. juga tidak menemukan hubungan antara FiTd dan tinggi badan⁶². Berkenaan dengan patela baja relatif pada pasien Asia dibandingkan dengan pasien Kaukasia, ini harus diperhitungkan ketika reseksi tulang direncanakan selama TKA.

Lutut Asia memiliki sedikit keselarasan varus⁶³⁻⁶⁵, oleh karena itu pelepasan jaringan lunak yang lebih luas dari kapsul posterior sering diperlukan, yang memerlukan penggunaan dimensi AP yang lebih besar dengan dimensi femoralis ML tertentu dari implan lutut. Peneliti menemukan bahwa sebagian besar sistem lutut tidak mengakomodasi ukuran lutut Asia terkecil; dengan demikian, pemasangan ML yang baik dari implan femoralis akan mengakibatkan *overhang* anterior atau menyebabkan overstuffing pada sendi lutut. Sementara itu, pemasangan AP yang baik dari implan dapat menyebabkan ukuran dimensi ML yang terlalu kecil, sehingga menghindari lekukan anterior dan pengisian berlebih. Ketidaksesuaian ini juga ditemukan pada kelompok pasien Korea, Jepang, dan Brasil⁶⁶⁻⁶⁸. Ketidakcocokan antara implan lutut dan anatomi (misalnya, *overhang*) dapat menyebabkan keluhan, sedangkan ketidaksesuaian dengan komponen tibialis dapat menyebabkan lebih banyak gejala daripada komponen femoralis.^{57,69-72} Ahli bedah harus memutuskan apakah akan memilih komponen yang lebih besar atau lebih kecil ketika komponen implan tibialis dan sisi proksimal tibia yang direseksi tidak cocok, yang pada gilirannya akan menghasilkan baik penjorokan dan menggantung.⁷³

Sebuah penjorokan baik femur atau tibia dapat meningkatkan ketegangan kapsuler dan akhirnya menyebabkan volume berlebihan. Hal ini akan meningkatkan tekanan sendi dan menyebabkan nyeri dan kekakuan pada lutut^{71,74}. Penjorokan juga menyebabkan pelampiasan poplitea baik tulang paha atau tibia. Bahkan dalam kasus implan berukuran normal, pelampiasan poplitea masih dapat ditemukan, terutama pada implan berukuran besar atau dalam kasus posterolateral yang menjorok karena rotasi komponen tibialis. Bagaimanapun, hal tersebut menyebabkan nyeri lutut dan kaku⁷⁵. Penjorokan dari komponen tibialis, di sisi medial, menyebabkan stres pada jaringan lunak yang menyelubungi selama rentang gerakan gerakan, yang juga mengakibatkan nyeri lutut persisten setelah TKA. Selain itu, restorasi lutut dengan implan juga akan menyebabkan ketegangan yang berlebihan pada kapsul dan ligamen, yang dapat menyebabkan kekakuan lutut atau nyeri lutut pasca operasi⁷⁶. Berbeda dengan ukuran berlebihan, ukuran komponen tibialis yang lebih kecil pada akhirnya dapat menyebabkan pelonggaran mekanis dari permukaan tulang-implan karena kelebihan tulang trabecular⁷⁷. Mempertimbangkan masalah yang terkait dengan ukuran komponen tibialis implan lutut yang terlalu besar dan terlalu kecil, pemasangan implan yang baik penting karena ketidakcocokan antara tulang lutut dan implan akan menyebabkan pelonggaran dini, nyeri, dan revisi berikutnya.

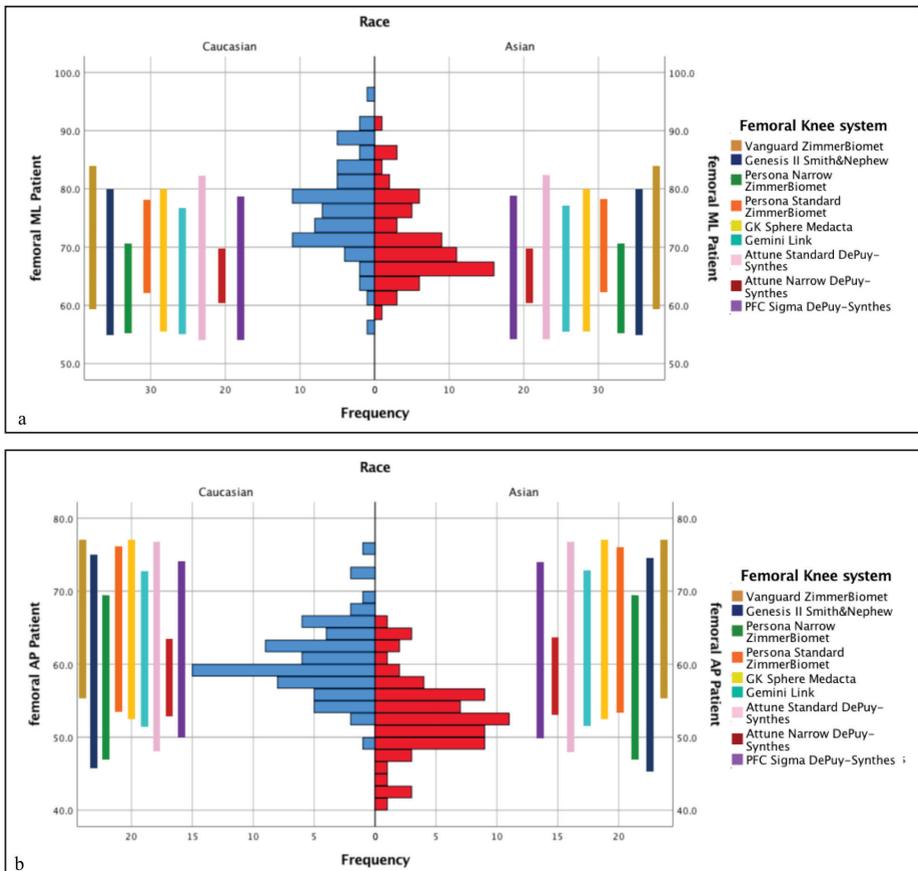




Gambar 1. Dimensi antropometri tibia dan perbandingan dengan total sembilan sistem artroplasti lutut: (a) mediolateral (ML) dan (b) anteroposterior (AP)

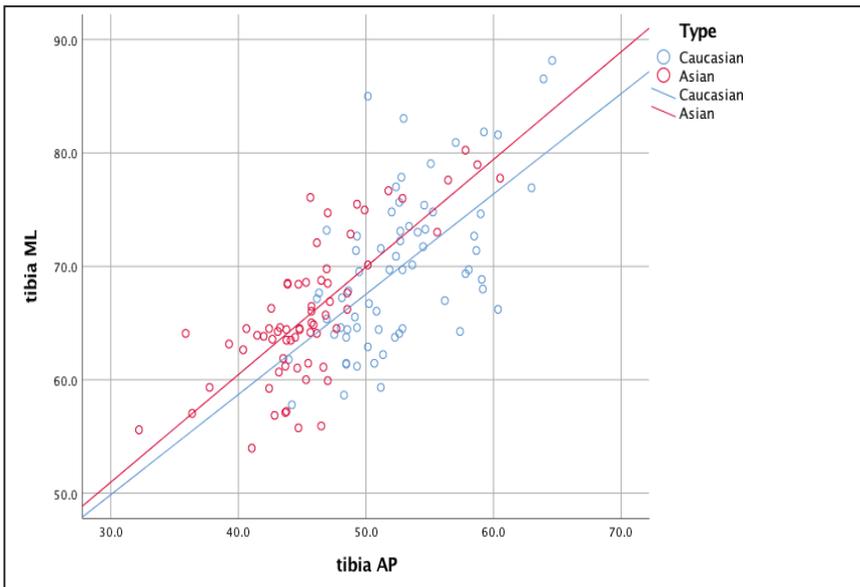
Pada komponen femoralis, implan femoralis anterior yang *overhang* dapat menyebabkan *overstuffing* patela, yang meningkatkan tekanan pada bagian patellofemoral; sebaliknya dapat mengganggu mekanisme ekstensor dan membatasi fleksi lutut^{57,78}. Selain perbedaan ukuran implan, femur asli juga memiliki bentuk yang berbeda (lebih trapesium) dibandingkan dengan sistem TKA. Perbedaan bentuk ini dapat menyebabkan *overstuffing* anterior atau *overstuffing*⁷⁹. Biasanya, untuk menghindari *overstuffing* anterior, beberapa ahli bedah lebih memilih untuk menggunakan ukuran lebih kecil. Bentuk implan femoralis menjadi penting dan layak dipertimbangkan saat memilih sistem TKA. Pertimbangan lain untuk menghindari ketidakcocokan implan femoralis adalah teknik bedah. Oleh karena itu, jika rotasi eksternal komponen femoralis terlalu banyak ($\geq 5^\circ$), *overhang* dapat terjadi, bahkan pada komponen femoralis yang berukuran normal^{80,81}. Komponen femoralis tidak boleh diputar secara eksternal $>3^\circ$ kecuali jika valgus ekstensif telah dilepaskan. Maka, untuk mendapatkan kesesuaian terbaik untuk kondilus femoralis Asia, fenotipe lutut pasien dan pengukuran pra operasi, karakteristik setiap sistem dan ukuran TKA, dan pengukuran ulang intraoperatif diperlukan

tidak hanya untuk menghindari underhang atau overhang tetapi juga untuk mendapatkan fleksi-ekstensi yang optimal. (Panjang AP) dan pengencangan jaringan lunak (lebar ML). Template pra operasi penting untuk panduan kecocokan yang paling optimal, meskipun mungkin ada sedikit perbedaan dengan ukuran sebenarnya saat operasi. Bahkan pemindaian computed tomography (CT) atau magnetic resonance imaging (MRI) pra operasi tidak tentu menyelesaikan isu ini, karena temuan intraoperatif dapat menyebabkan perubahan dalam rencana pra operasi, terutama pada lutut yang cacat lebih parah (misalnya, varus atau valgus, osteofit).



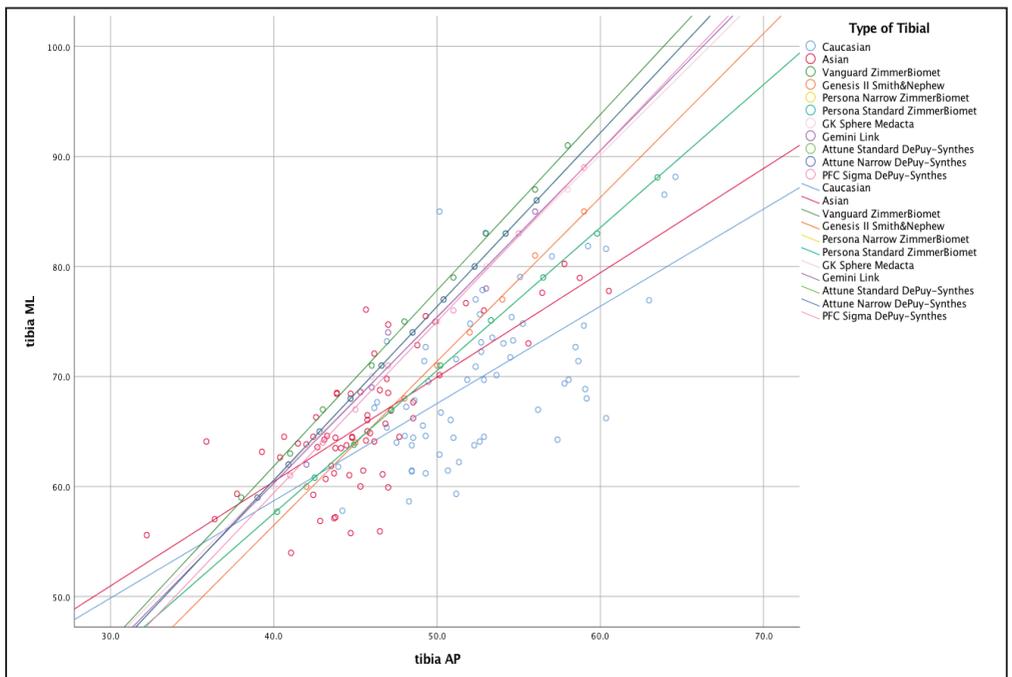
Gambar 2. Dimensi antropometri pada femur (ML) dan dicocokkan dengan total sembilan sistem artoplasti lutut (a) mediolateral (ML) dan (b) anteroposterior (AP)

Tibia Asia cenderung lebih sempit dalam lebar ML daripada komponen tibialis dari sembilan sistem TKA untuk ukuran AP tertentu. Dalam penelitian sebelumnya, Bonnin et al. menemukan bahwa hanya 17% pasien yang memiliki ukuran plato tibialis medial dan lateral yang serupa dan sebagian besar memiliki plato lateral yang lebih kecil. Untuk alasan ini, *plateau* asimetris lebih diminati atau komponennya diputar⁸². Tiga sistem memiliki desain komponen tibia asimetris: desain lutut Persona Standard dan Persona Narrow (ZimmerBiomet) serta sistem Genesis II TKA (Smith & Nephew). Namun, *plateau* asimetris ini dapat menyebabkan *overhang* jika ukuran terkecil tidak mengakomodasi fenotipe morfologi lutut terkecil. Secara teknis, pelat dasar tibialis harus disejajarkan dengan mengacu pada tuberositas tibialis anterior, sehingga dapat berputar secara eksternal ke margin posterior. Hal ini akan menyebabkan hilangnya cakupan pada sisi medial dan beberapa *overhang* pada sisi posterolateral jika komponennya terlalu besar. Bahkan pada implan berukuran normal, posisi pelat dasar tibia menyebabkan overhang posterolateral yang harus dihindari. Oleh karena itu, teknik pembedahan dan ukuran implan juga berperan penting dalam menghindari overhang.

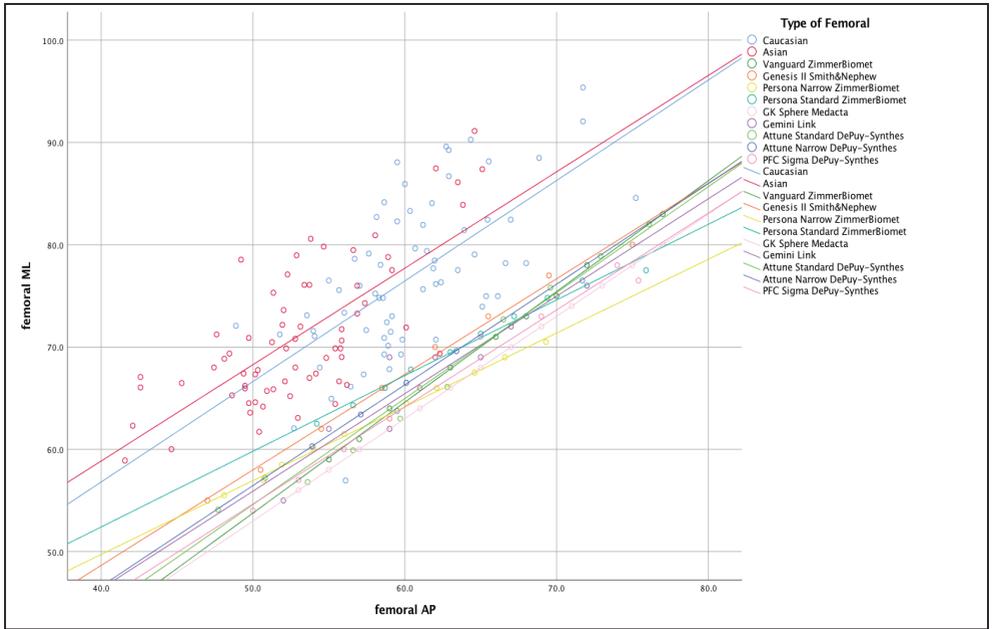


Gambar 3. Perbandingan dari dimensi tibia diantara Pasien Ras Asia dan Ras Kaukasia

Rasio aspek ML/AP dari femur distal pada kedua kelompok pasien lebih besar dibandingkan dengan sembilan sistem lutut. Ini menyiratkan bahwa sembilan sistem *total knee arthroplasty* dapat meminimalisir *overstuffing* pada sendi. Adapun tibia proksimal, sebagian besar implan lutut komponen tibialis ini lebih besar dari rasio aspek ML/AP tibia antropometrik. Sangat menarik bahwa beberapa implan memiliki diameter ML yang serupa tetapi diameter AP yang lebih kecil, sedangkan yang lain memiliki diameter AP yang lebih besar dengan diameter ML yang sama.



Gambar 4. Perbandingan antara dimensi femoral pada lutut ras Asia, Ras Kaukasia, dan Total Sembilan Sistem Artroplasti



Gambar 5. Perbandingan antara dimensi femoral pada lutut ras Asia, Ras Kaukasia, dan Total Sembilan Sistem Artroplasti

Hasil kami menunjukkan bahwa ada perbedaan antara kelompok pasien yang berbeda, menunjukkan pentingnya pembuatan *templating* pra operasi. Dengan demikian, implan tertentu dapat dipilih untuk lutut tertentu. Hal ini harus diperhatikan agar dapat mengurangi kemungkinan kesalahan tipe II. Koefisien korelasi intraclass dari variabilitas sesame observer dalam penelitian ini tinggi pada nilai 0,853 (reliabilitas baik) untuk pengukuran tibialis dan 0,776 (reliabilitas baik) untuk pengukuran femoralis. Yang terakhir telah dilaporkan dalam penelitian lain juga⁸³⁻⁸⁵.

Dengan hasil penelitian ini, ahli bedah dapat memprediksi dan belajar untuk mencocokkan jenis dan ukuran implan berdasarkan jenis kelamin dan etnis pasien. Teknik TKA yang berbeda juga harus digunakan sesuai dengan antropometri dan fenotipe lutut pasien.

REKOMENDASI UNTUK PENELITIAN LEBIH LANJUT

Penelitian lanjutan yang berkualitas diperlukan untuk meningkatkan tidak hanya usia pemakaian implan, tetapi juga tingkat kepuasan dan fungsionalitas pasien. Selain itu, penurunan komplikasi paska operasi perlu kerjasama (inter)nasional dan merupakan keharusan di bidang medis apapun. Untuk itu, kolaborasi IDEAL (*Idea, Development, Exploration, Assessment and long term follow up*) harus dilakukan karena tidak ada inovasi tanpa evaluasi yang bisa dijadikan standar. Pedoman internasional, dengan adaptasi nasional, akan membantu para ahli bedah dalam pengambilan keputusan yang lebih baik untuk pasien mereka. Desain implan baru yang mengakomodasi fitur anatomi pasien Asia atau bahkan implan cetak 3D dapat meningkatkan hasil. Tetapi bahkan untuk implan cetak 3D, tidak ada inovasi tanpa evaluasi.

Kemungkinan penelitian di masa depan dapat berfokus pada:

- 1) Tingkat pembedahan
 - a) Pengembangan register implan untuk pinggul dan lutut di Indonesia yang diinterpretasikan oleh dokter orthopaedi. Sistem ini dapat memberikan umpan balik kepada dokter orthopaedi tentang hasil operasi mereka.
 - b) Pelatihan ahli bedah, junior dan senior saat mereka menggunakan implan baru di laboratorium keterampilan sehingga mengurangi komplikasi.
- 2) Tingkat pasien
 - a) Pengembangan PROM yang spesifik untuk pasien Indonesia
 - b) Manajemen harapan pasien
 - c) Peningkatan manajemen nyeri
 - d) Peningkatan rehabilitasi untuk OA
- 3) Tingkat implan
 - a) Implan cetak 3D dan umpan balik pada keseimbangan ligamen berdasarkan data pembelajaran mesin atau kecerdasan buatan dapat digunakan untuk memberikan umpan balik intraoperatif kepada ahli bedah

- b) Implan generik berbiaya rendah berkualitas tinggi akan tersedia, implan menjadi komoditas

INTISARI THESIS PHD YANG DITEMPUH DI LEIDEN UNIVERSITY, THE NETHERLANDS

Penelitian yang dipromotori oleh Prof. Rob Nelissen (Leiden University, The Netherlands) dan Prof. dr. S. Paratte (Institute for Locomotion, Aix-Marseille University, France), menunjukkan hasil bahwa pasien Asia memiliki lutut dengan dimensi antero-posterior (AP) dan medial-lateral (ML) yang lebih kecil dari femur distal dan tibia proksimal. Pasien Asia rata-rata 6% lebih pendek dari pasien Kaukasia dan memiliki dimensi femoralis distal dan tibialis proksimal yang lebih kecil. Ini menunjukkan bahwa untuk mendapatkan kecocokan implan yang optimal, system implan prostesis lutut harus tersedia dalam rentang ukuran yang lebih luas (yaitu, ukuran yang lebih kecil) sesuai dengan temuan dari penelitian sebelumnya [15]. Hasil penelitian ini juga menggarisbawahi bahwa ketidakcocokan tercipta ketika desain prostesis lutut total hanya didasarkan pada sejumlah kecil ras Kaukasia. Keberhasilan TKA jangka panjang tergantung pada kecocokan optimal antara prostesis dan tulang yang direseksi. Oleh karena itu, dimensi yang berbeda dari desain lutut harus digunakan pada pasien Asia untuk mengoptimalkan kinerja biomekanik dari sendi lutut buatan [17,18,88]. Posisi letak tempurung lutut orang Indonesia juga lebih rendah. Hasil penelitian ini sangat penting sebagai dasar untuk menciptakan implan produksi dalam negeri yang sesuai dengan kebutuhan antropometri orang Indonesia. Harapan kami ke depan adalah kita menjadi bangsa yang mampu memproduksi dan mencukupi kebutuhan implan artroplasti dengan mandiri. Hasil penelitian kolaboratif ini juga membawa nama Indonesia di level dunia sebagai perwakilan negara Asia di bidang penelitian osteoarthritis.

PROFIL GENETIK POLIMORFISME PADA OA LUTUT DI INDONESIA

Pada penelitian disertasi kami yang kedua, bersama dengan promotor kami Prof. dr. Tri Wibawa, PhD, Sp.MK(K) dan co-promotor Dr. dr. Rahadyan Magetsari, Sp.B, Sp.OT(K), kami berusaha untuk menemukan profil genetic polimorfisme dari interleukin-1 pada

penderita OA lutut di Indonesia. Seperti yang diketahui bahwa interleukin-1 *receptor* dan *receptor antagonist* berperan besar dalam pathogenesis penyakit OA. Interleukin-1 saat ini diketahui memiliki ragam polimorfisme antar ras yang berbeda sehingga memiliki karakteristik klinis yang berbeda [88]. Pengetahuan ini penting agar kita bisa mengetahui karakteristik interleukin-1 yang berperan pada penyakit OA pada populasi orang Indonesia sehingga nantinya penelitian ini akan bisa menghasilkan landasan teori untuk mendeteksi dini pengobatan yang lebih spesifik dan terarah untuk orang Indonesia. Penelitian ini saat ini sudah pada tahap akhir dan direncanakan selesai pada awal tahun 2022.

HARAPAN KE DEPAN

Sekelumit kedua gambaran di atas diharapkan menjadi motivasi bagi generasi muda untuk terus berpikir kritis dalam mencari solusi untuk masalah kesehatan di Indonesia. Dari pikiran kritis dan niat tulus untuk memberikan solusi yang terbaik, maka akan timbul semangat untuk meneliti di kalangan generasi muda. Bukan tidak mungkin penelitian yang dilakukan adalah penelitian berlevel internasional yang hasilnya menjadikan Indonesia sebagai negara yang disegani dalam bidang ilmu pengetahuan. Pada akhirnya, dari bidang ilmu pengetahuan, Indonesia akan memiliki daya saing global yang mumpuni dan disegani di bidang akademik.

TEROBOSAN DI BIDANG PENDIDIKAN UNTUK MEWUJUDKAN SUMBER DAYA MANUSIA BERTARAF INTERNASIONAL

Agar semakin dikenal dan disegani di level internasional, generasi muda kita harus berani keluar dari zona nyaman. Kami merintis upaya-upaya untuk memberikan jalan dan akses agar generasi muda kita, dokter-dokter penerus kita, mampu berkiprah di level internasional. Pada kesempatan ini kami akan membagikan perjalanan kami agar bisa menjadi inspirasi dan motivasi untuk generasi muda.

Pengalaman dari guru-guru saya selama pendidikan orthopaedi dan *fellowship* seperti di Harvard Medical School, Boston, (USA) di bawah bimbingan Prof. Richard Scott and Prof. Thomas

S. Thornhill, Stanford Fellowship for Arthroplasty, Palo Alto (USA) di bawah bimbingan Prof. William J. Maloney, Prof. Dubousset dan Dr. Chopin (Paris, Perancis), Prof. Mittlemeier (Germany) dan Prof. Trentz (Switzerland), Prof. Ranawat (Lennox Hill Hospital, New York, USA) dan Prof. Dennis (Colorado Joint Replacement, Denver, USA) telah membuka pandangan dan pikiran saya bahwa apabila kita berani untuk berkompetisi di level internasional sehingga kesempatan menjadi terbuka lebar. Kesempatan untuk mendapat ilmu baru dan teman baru.

Ketekunan yang disertai doa akan selalu berbuah hasil. American Association of Hip and Knee Surgeons atau AAHKS adalah organisasi ahli orthopaedi di bidang pinggul dan lutut ternama dan eksklusif di Amerika Serikat. Organisasi ini diisi oleh pakar-pakar di bidang pembedahan pinggul dan lutut yang menjadi kiblat dari panduan tatalaksana masalah pinggul dan lutut di dunia. Ketekunan selama proses *fellowship* dan sumbangsih setelahnya memungkinkan kami untuk diterima sebagai satu dari 23 orang di luar Amerika Serikat untuk menjadi anggota internasional AAHKS (2005). Anugerah ini makin membuka kesempatan kami untuk bisa mengenalkan nama Indonesia di Amerika Serikat. Akses-akses pendidikan, *fellowship*, dan *training* untuk dokter Indonesia di Amerika Serikat pun menjadi semakin terbuka.

Untuk memfasilitasi animo ahli orthopaedi di bidang pinggul dan lutut, kami bersama-sama dengan pakar lain di Indonesia menginisiasi berdirinya organisasi Indonesian Hip and Knee Society (IHKS) sekaligus menjabat sebagai presiden pertama. Organisasi IHKS ini telah berhasil mendidik dan menghasilkan ahli-ahli orthopaedi di bidang subspecialisasi pinggul dan lutut. Setiap 2 tahun, IHKS mengadakan konferensi tingkat global yang dihadiri para pakar dunia, dan merupakan salah satu konferensi terbesar se-Asia Pasifik. Semua langkah ini bertujuan agar ahli orthopaedi Indonesia menjadi kompeten dan memiliki daya saing di level global.

Di level Asia Tenggara, dengan kesempatan yang makin terbuka dan keinginan yang makin besar, kami ikut menginisiasi terbentuknya ASEAN Arthroplasty Association sebagai salah satu

founding father. Ada pelajaran menarik yang ingin kami bagikan kepada generasi muda dalam pengalaman kami di Asia-Pasifik. Seperti yang diketahui bahwa memang perkembangan teknologi arthroplasty masih berpusat di Eropa dan Amerika Utara. Tetapi perlu diketahui bahwa diproyeksikan pada tahun 2022 justru penggunaan implan arthroplasty yang terbesar nantinya adalah di Asia-Pasifik dan Timur Tengah karena populasi keseluruhan di regional tersebut lebih besar daripada Eropa dan Amerika Utara. Atas dasar semangat itulah kami bergabung dalam tiga organisasi se-Asia Pasifik yang mewadahi arthroplasty yaitu: Asia Pacific Arthroplasty Society (APAS), Asia Pacific Knee Society (APKS), dan Arthroplasty Society in Asia (ASIA). Selama bertahun-tahun, ketiga organisasi ini berjalan sendiri-sendiri meskipun memiliki tujuan yang sama. Keinginan untuk membawa nama Indonesia di level Asia-Pasifik serta dorongan untuk menjadikan organisasi Asia-Pasifik menjadi yang terbesar di dunia memotivasi kami untuk mewadahi ketiga organisasi ini dalam satu payung yang sama. Sesuatu yang belum pernah dilakukan sebelumnya. Visi ini dapat kami realisasikan saat kami diangkat menjadi president 3 organisasi Asia-Pasifik pada kurun waktu yg bersamaan (2019–2022), meskipun dalam prosesnya adalah sangat sulit dan hampir mustahil. Tentu saja ini adalah pencapaian yang membanggakan dan langka untuk Indonesia karena baru pertama kali seseorang dipercaya untuk memimpin tidak hanya satu tetapi tiga organisasi Asia-Pasifik dalam waktu bersamaan. Anugerah ini juga membawa kepada penghargaan dari Museum Rekor Indonesia. Kesempatan yang berharga ini kami manfaatkan untuk membawa nama-nama generasi muda untuk tampil pada forum internasional baik sebagai *board of members* atau sebagai pembicara pada forum ilmiah. Dari pengalaman kami ini, kami ingin mengingatkan/memotivasi kepada generasi muda bahwa kita Indonesia berpotensi menjadi yang terbaik di dunia (*leaders of the world*). Di cakupan Asia Pasifik, kami hendak mendorong dokter-dokter muda untuk bisa saling berbagi ilmu dan berkompetisi, maka kami menginisiasi *Young Surgeons Forum* untuk mewadahi pertukaran ilmu antar generasi dan antar negara.



Di level yang lebih luas, kami terus ingin membawa nama Indonesia di level dunia. Sumbangsih yang konsisten untuk dunia memberikan kepercayaan dari salah satu organisasi terbesar di dunia, International Society of Arthroscopy, Knee Surgery & Orthopedic Sports Medicine (ISAKOS) untuk menjadi salah satu dari 18 Founding Godfather dan 11 Board of Directors. Di mana, organisasi ini berperan dalam mengarahkan *guidelines* dan *policy* bedah lutut dan *sports medicine* di seluruh dunia. Kepercayaan lain yang didapat seperti menjadi perwakilan Asia Pasifik pada International Periprosthetic Joint Infection Consensus Meeting yang membahas dan menghasilkan rekomendasi/guideline tatalaksana infeksi yang digunakan di seluruh negara.

Sesuai dengan arahan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, universitas di Indonesia diharapkan menjadi World Class University. Salah satu pilar dari World Class University adalah internasionalisasi anak didik. Sejak tahun 2019, kami dipercaya untuk ikut bersama-sama membangun Fakultas Vokasi, Universitas Airlangga, khususnya program studi Fisioterapi untuk menuju World Class University. Untuk mencapai kualitas World Class, selain pembangunan infrastruktur yang menunjang pembelajaran, ada dua aspek yang ingin kami tanamkan pada anak didik. Yang pertama adalah keterbukaan berpikir, yang kedua adalah berpikir kritis. Suasana belajar yang memfasilitasi tiap anak didik untuk berani mengungkapkan pendapat diterapkan dalam setiap kuliah dan diskusi. Kami menjembatani kolaborasi dengan Leiden University (Belanda), Ryukyu Riha (Jepang), University of California San Diego (Amerika Serikat). Rasa canggung dan minder yang dirasakan oleh anak didik berangsur-angsur hilang dan berubah menjadi pertanyaan-pertanyaan kritis kepada *guest lecturer*. Kualitas anak didik seperti inilah yang diharapkan agar generasi muda kita dari segala lapisan masyarakat menjadi generasi yang kritis, berani, dan mau terus belajar.

Dengan makin banyak generasi muda kita yang mampu berperan di level internasional, maka akan makin terbuka akses teknologi, ilmu pengetahuan, pertukaran informasi, dan penelitian dimana hal ini tentu saja akan makin mendorong daya saing Indonesia di mata dunia. Seperti cita-cita almarhum Prof

B.J. Habibie yang selalu ingin bangsa Indonesia menjadi mandiri dan disegani oleh bangsa lain di bidang ilmu pengetahuan. Kami juga bercita-cita agar tenaga kesehatan Indonesia pada umumnya dapat menjadi pribadi yang dikenal dan disegani di level dunia. Kami juga ingin menunjukkan kepada generasi muda Indonesia bahwa kecintaan kepada tanah air yang didukung dengan kerja keras akan bisa memotivasi diri sendiri untuk membuka mata dunia bahwa Indonesia memiliki talenta-talenta yang sangat berkompeten untuk berkiprah di level internasional. Kami juga ingin menginspirasi lebih banyak generasi muda Indonesia bahwa putra dan putri Indonesia mampu untuk berkarya di tingkat dunia. Inspirasi ini penting karena generasi muda Indonesialah yang akan meneruskan bangsa ini. Misi saya adalah membawa generasi muda Indonesia menjadi lebih berhasil daripada segala yang telah saya capai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebelum kami menutup, ijinkan kami dalam kesempatan ini untuk menghaturkan penghargaan dan terima kasih kepada pihak-pihak yang ikut berjasa membantu kami dalam meraih pencapaian ini. Pertama-tama puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME yang telah memberikan kesehatan dan kegigihan untuk bisa mencapai titik ini.

Kepada yang kami hormati:

Presiden Republik Indonesia, Ir. Joko Widodo

Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Nadiem Anwar Makarim, B.A., M.B.A.

Keluarga Besar alm. Prof. Dr. -Ing. Bacharuddin Jusuf Habibie - Dr.-ing. Ilham Akbar Habibie, dan Dipl.-ing. Thareq Kemal Habibie.

Kami hendak memberikan apresiasi kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), secara khusus yang kami hormati Kepala BRIN, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc. bersama dengan Dewan Pembina, Pengurus dan Pengawas Yayasan Pembinaan, Pengembangan Sumber Daya Manusia dalam Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Yayasan SDM-IPTEK) beserta jajaran kepengurusannya, yang telah secara konsisten mengadakan ajang penghargaan

Habibie Prize sejak tahun 1999 hingga saat ini dan terus menginspirasi masyarakat Indonesia serta mendorong kemajuan dan pengembangan IPTEK di tanah air. Secara khusus kami haturkan rasa terima kasih yang mendalam kepada Prof. Dr. -Ing. Wardiman Djojonegoro sebagai mentor dan guru besar kami yang kami hormati.

Penghargaan ini secara khusus kami dedikasikan kepada inspirasi terbesar kami yaitu almarhum ayahanda dr. Nicolaas Aloysius Budhiparama, Sr., yang semasa hidupnya telah mendedikasikan hidupnya, memberikan sumbangsih kepada bangsa dan negara melalui karya di bidang pendidikan, kedokteran dan olahraga. Untuk keluarga kami, ibunda Pretty Budhiparama, istri tersayang Ir. Adriana Sri Lestari, MBA (Honorary Consul of the Republic of Estonia to Indonesia), anak-anak terkasih Nicolaas Bryant Budhiparama – menantu saya Stephanie Sampoerna, dan Nicolaas Edrick Budhiparama, serta cucu Nicolaas Michael Budhiparama. Terima kasih juga kepada adik-adik saya Astrid Budhiparama dan Reggy Suriadjaja, yang senantiasa mendoakan dan mendukung kami, serta memberi semangat tanpa henti.

Tak lupa, kami ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada para inspirator yang mengusulkan kami untuk penghargaan ini yakni Prof. dr. Abdul Muthalib, Sp. PD-KHOM (Wakil Ketua Dokter Kepresidenan RI), Prof. Dr. Mohammad Nasih, SE., MT., Ak (Rektor Universitas Airlangga), Prof. Daniel J. Berry, MD (Past Chairman of Mayo Clinic, USA; Past President of American Association of Orthopedic Surgeon), Prof dr. Pancras C.W. Hogendoorn (Dean Chairman of Leiden University Medical Center; Research Team of the Kingdom of Netherlands), Prof. Rob G.H.H. Nelissen, MD, PhD (Chair Department of Orthopedics and Rehabilitation, Leiden University Medical Center-LUMC).

Kami pun mengapresiasi para pembimbing dan rekan sejawat kami, Prof. Djoko Santoso dr., Ph.D., Sp.PD.K-GH.FINASIM (Universitas Airlangga), Prof. Dwikora Novembri Utomo, Sp.OT(K) dan dr. Kukuh D. Hernugrahanto, Sp.OT(K) atas kesediaannya untuk meluangkan waktu dan membantu kami dalam proses persiapan Habibie Prize ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya untuk



pembimbing kami Prof. dr. Adi Utarini, M.Sc, MPH, Ph.D dan Prof. Herawati Sudoyo, M.S, Ph.D, Prof. dr. Tri Wibawa, PhD, Sp.MK(K) dan Dr. dr. Rahadyan Magetsari, Sp.B, Sp.OT(K), atas bantuan dan bimbingannya selama studi S3 kami. Kepada para pasien kami yang merupakan mahaguru yang terbaik karena telah memberikan pengalaman yang sungguh bermakna sepanjang karir kami. Tak lupa pula kami berterima kasih kepada tim administrasi dan sekretariat Peggy Widjaja dan drg. Jessica Felisa Nilam. Atas dukungan dan doa dari keluarga, kerabat dan sahabat-sahabat kami di atas lah, kami bisa menjadi seperti apa kami pada hari ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Horikawa A, Miyakoshi N, Shimada Y, Kodama H. Comparison of clinical outcomes between total knee arthroplasty and unicompartmental knee arthroplasty for osteoarthritis of the knee: a retrospective analysis of preoperative and postoperative results. *J Orthop Surg Res*. 2015 Dec;10(1):168.
2. Fortin PR, Penrod JR, Clarke AE, St-Pierre Y, Joseph L, Bélisle P, et al. Timing of total joint replacement affects clinical outcomes among patients with osteoarthritis of the hip or knee. *Arthritis Rheum*. 2002 Dec;46(12):3327–30.
3. Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, Mahomed NN, Charon KDJ. Patient Satisfaction after Total Knee Arthroplasty: Who is Satisfied and Who is Not? *Clin Orthop Relat Res*. 2010 Jan;468(1):57–63.
4. Anderson JG, Wixson RL, Tsai D, Stulberg SD, Chang RW. Functional outcome and patient satisfaction in total knee patients over the age of 75. *J Arthroplasty*. 1996 Oct;11(7):831–40.
5. Chesworth BM, Mahomed NN, Bourne RB, Davis AM. Willingness to go through surgery again validated the WOMAC clinically important difference from THR/TKR surgery. *J Clin Epidemiol*. 2008 Sep;61(9):907–18.
6. Hawker G, Wright J, Coyte P, Paul J, Dittus R, Croxford R, et al. Health-related quality of life after knee replacement. *J Bone Joint Surg Am*. 1998 Feb;80(2):163–73.
7. Petersen W, Rembitzki IV, Brüggemann G-P, Ellermann A, Best R, Koppenburg AG-, et al. Anterior knee pain after total knee arthroplasty: a narrative review. *Int Orthop*. 2014 Feb;38(2):319–28.
8. Fernandez-Moreno M, Rego I, Carreira-Garcia V, Blanco F. Genetics in Osteoarthritis. *Curr Genomics*. 2008 Dec;9(8):542–7.

9. Bravatà V, Minafra L, Forte GI, Cammarata FP, Saporito M, Boniforti F, et al. DVWA gene polymorphisms and osteoarthritis. *BMC Res Notes*. 2015;8(1):30.
10. Bijlsma JWJ, Berenbaum F, Lafeber FPJG. Osteoarthritis: an update with relevance for clinical practice. *Lancet*. 2011 Jun;377(9783):2115–26.
11. Taruc-Uy RL, Lynch SA. Diagnosis and Treatment of Osteoarthritis. *Prim Care Clin Off Pract*. 2013 Dec;40(4):821–36.
12. Ahmad IW, Rahmawati LD, Wardhana TH. Demographic Profile, Clinical and Analysis of Osteoarthritis Patients in Surabaya. 2018;01(01):34–9.
13. den Hollander W, Pulyakhina I, Boer C, Bomer N, van der Breggen R, Arindrarto W, et al. Annotating Transcriptional Effects of Genetic Variants in Disease-Relevant Tissue: Transcriptome-Wide Allelic Imbalance in Osteoarthritic Cartilage. *Arthritis Rheumatol*. 2019 Feb;
14. Smink AJ, van den Ende CHM, Vliet Vlieland TPM, Swierstra BA, Kortland JH, Bijlsma JWJ, et al. “Beating osteoARthritis”: Development of a stepped care strategy to optimize utilization and timing of non-surgical treatment modalities for patients with hip or knee osteoarthritis. *Clin Rheumatol*. 2011 Dec;30(12):1623–9.
15. Fernandes L, Hagen KB, Bijlsma JWJ, Andreassen O, Christensen P, Conaghan PG, et al. EULAR recommendations for the non-pharmacological core management of hip and knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*. 2013 Jul;72(7):1125–35.
16. Bhatia D, Bejarano T, Novo M. Current interventions in the management of knee osteoarthritis. *J Pharm Bioallied Sci*. 2013;5(1):30.
17. McAlindon TE, Bannuru RR, Sullivan MC, Arden NK, Berenbaum F, Bierma-Zeinstra SM, et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee osteoarthritis. *Osteoarthr Cartil*. 2014 Mar;22(3):363–88.

18. Islam MJ, Yusuf MA, Hossain MS, Ahmed M. Updated Management of Osteoarthritis: A Review. *J Sci Found*. 2015 Jan;11(2):49-55.
19. Gregori D, Giacobelli G, Minto C, Barbetta B, Gualtieri F, Azzolina D, et al. Association of Pharmacological Treatments With Long-term Pain Control in Patients With Knee Osteoarthritis. *JAMA*. 2018 Dec;320(24):2564.
20. Rozendaal RM, Uitterlinden EJ, van Osch GJVM, Garling EH, Willemssen SP, Ginai AZ, et al. Effect of glucosamine sulphate on joint space narrowing, pain and function in patients with hip osteoarthritis; subgroup analyses of a randomized controlled trial. *Osteoarthr Cartil*. 2009 Apr;17(4):427-32.
21. Merashli M, Uthman I. Management of knee osteoarthritis: An evidence-based review of treatment options. Vol. 60, *Le Journal médical libanais*. The Lebanese medical journal. 2011. 237-242 p.
22. Buttgerit F, Burmester G-R, Bijlsma JWJ. Non-surgical management of knee osteoarthritis: where are we now and where do we need to go? *RMD Open*. 2015 Feb;1(1):e000027--e000027.
23. Karsdal MA, Michaelis M, Ladel C, Siebuhr AS, Bihlet AR, Andersen JR, et al. Disease-modifying treatments for osteoarthritis (DMOADs) of the knee and hip: lessons learned from failures and opportunities for the future. *Osteoarthr Cartil*. 2016 Dec;24(12):2013-21.
24. Wiegant K, van Roermund PM, Intema F, Cotofana S, Eckstein F, Mastbergen SC, et al. Sustained clinical and structural benefit after joint distraction in the treatment of severe knee osteoarthritis. *Osteoarthr Cartil*. 2013 Nov;21(11):1660-7.
25. OECD. Life expectancy at birth. 2019.
26. Kotela A, Lorkowski J, Kucharzewski M, Wilk-Frańczuk M, Śliwiński Z, Frańczuk B, et al. Patient-Specific CT-Based Instrumentation versus Conventional Instrumentation in Total Knee Arthroplasty: A Prospective Randomized Controlled Study

- on Clinical Outcomes and In-Hospital Data. *Biomed Res Int.* 2015;2015:1-8.
27. Schotanus MGM, Boonen B, van der Weegen W, Hoekstra H, van Drumpt R, Borghans R, et al. No difference in mid-term survival and clinical outcome between patient-specific and conventional instrumented total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2018 May;
 28. Schwarzkopf R, Brodsky M, Garcia GA, Gomoll AH. Surgical and Functional Outcomes in Patients Undergoing Total Knee Replacement With Patient-Specific Implants Compared With "Off-the-Shelf" Implants. *Orthop J Sport Med.* 2015 Jul;3(7):232596711559037.
 29. Scuderi GR, Fallaha M, Masse V, Lavigne P, Amiot L-P, Berthiaume M-J. Total Knee Arthroplasty with a Novel Navigation System Within the Surgical Field. *Orthop Clin North Am.* 2014 Apr;45(2):167-73.
 30. Dutch Arthroplasty Register (LROI). Online LROI annual report 2018. 2018;(August).
 31. Online LROI annual report 2019. 2019.
 32. Rothwell, Devane, Young, Muir O, Griffin, Pettett, Hobbs, Frampton T. *NZJR 17 year report.* 2016;(December).
 33. Vaienti E, Scita G, Ceccarelli F, Pogliacomì F. Understanding the human knee and its relationship to total knee replacement. *Acta Biomed.* 2017;88(2S):6-16.
 34. Abram SGF, Marsh AG, Brydone AS, Nicol F, Mohammed A, Spencer SJ. The effect of tibial component sizing on patient reported outcome measures following uncemented total knee replacement. *Knee.* 2014 Oct;21(5):955-9.
 35. Ahmed I, Paraoan V, Bhatt D, Mishra B, Khatri C, Griffin D, et al. Tibial component sizing and alignment of TKR components does not significantly affect patient reported outcome mea-

- tures at six months. A case series of 474 participants. *Int J Surg*. 2018 Apr;52:67–73.
36. van Hemert WLW, Meyers WGH, Kleijn LLA, Heyligers IC, Grimm B. Functional outcome of knee arthroplasty is dependent upon the evaluation method employed. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2009 Aug;19(6):415–22.
 37. Nilsson A-K, Toksvig-Larsen S, Roos EM. A 5 year prospective study of patient-relevant outcomes after total knee replacement. *Osteoarthr Cartil*. 2009 May;17(5):601–6.
 38. Dunbar MJ, Richardson G, Robertsson O. I can't get no satisfaction after my total knee replacement. *Bone Joint J*. 2013 Nov;95-B(11_Supple_A):148–52.
 39. Keurentjes JC, Fiocco M, So-Osman C, Onstenk R, Koopman-Van Gemert AWMM, Pöll RG, et al. Patients with Severe Radiographic Osteoarthritis Have a Better Prognosis in Physical Functioning after Hip and Knee Replacement: A Cohort-Study. Baradaran HR, editor. *PLoS One*. 2013 Apr;8(4):e59500.
 40. Haanstra TM, Tilbury C, Kamper SJ, Tordoir RL, Vliet Vlieland TPM, Nelissen RGHH, et al. Can Optimism, Pessimism, Hope, Treatment Credibility and Treatment Expectancy Be Distinguished in Patients Undergoing Total Hip and Total Knee Arthroplasty? Wicherts JM, editor. *PLoS One*. 2015 Jul;10(7):e0133730.
 41. Tilbury C, Haanstra TM, Leichtenberg CS, Verdegaal SHM, Ostelo RW, de Vet HCW, et al. Unfulfilled Expectations After Total Hip and Knee Arthroplasty Surgery: There Is a Need for Better Preoperative Patient Information and Education. *J Arthroplasty*. 2016 Oct;31(10):2139–45.
 42. Scott CEH, Howie CR, MacDonald D, Biant LC. Predicting dissatisfaction following total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2010 Sep;92-B(9):1253–8.
 43. Collins NJ, Roos EM. Patient-Reported Outcomes for Total Hip and Knee Arthroplasty. *Clin Geriatr Med*. 2012 Aug;28(3):367–94.

44. Ahmad MA, Xypnitos FN, Giannoudis PV. Measuring hip outcomes: Common scales and checklists. *Injury*. 2011 Mar;42(3):259–64.
45. Jones CA, Beaupre LA, Johnston DWC, Suarez-Almazor ME. Total Joint Arthroplasties: Current Concepts of Patient Outcomes after Surgery. *Rheum Dis Clin North Am*. 2007 Feb;33(1):71–86.
46. Bullens PHJ, van Loon CJM, de Waal Malefijt MC, Laan RFJM, Veth RPH. Patient satisfaction after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2001 Sep;16(6):740–7.
47. Kahn TL, Soheili A, Schwarzkopf R. Outcomes of Total Knee Arthroplasty in Relation to Preoperative Patient-Reported and Radiographic Measures. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*. 2013 Dec;4(4):117–26.
48. Matsuda S, Kawahara S, Okazaki K, Tashiro Y, Iwamoto Y. Post-operative Alignment and ROM Affect Patient Satisfaction After TKA. *Clin Orthop Relat Res*. 2013 Jan;471(1):127–33.
49. Bonnin MP, Basigliani L, Archbold HAP. What are the factors of residual pain after uncomplicated TKA? *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc*. 2011 Sep;19(9):1411–7.
50. Park CN, White PB, Meftah M, Ranawat AS, Ranawat CS. Diagnostic Algorithm for Residual Pain After Total Knee Arthroplasty. *Orthopedics*. 2016 Mar;39(2):e246–52.
51. Ritter MA. The Anatomical Graduated Component total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2009 Jun;91-B(6):745–9.
52. Zhang Y, Xu L, Nevitt MC, Aliabadi P, Yu W, Qin M, et al. Comparison of the prevalence of knee osteoarthritis between the elderly Chinese population in Beijing and whites in the United States: The Beijing osteoarthritis study. *Arthritis Rheum*. 2001 Sep;44(9):2065–71.
53. Joshy S, Datta A, Perera A, Thomas B, Gogi N, Kumar Singh B. Ethnic differences in preoperative function of patients undergoing total knee arthroplasty. *Int Orthop*. 2006;30(5):426–8.

54. Budhiparama NC, Gaudiani MA, White PB, Satalich J, Nelissen RGHH, Ranawat AS, et al. A comparison of clinical and patient-reported outcome measures of TKR: Comparison of Asian to North American patients. *J Orthop Surg*. 2019 May;27(2):230949901984455.
55. Hitt K, Shurman JR, Greene K, McCarthy J, Moskal J, Hoeman T, et al. Anthropometric measurements of the human knee: correlation to the sizing of current knee arthroplasty systems. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A Suppl:115–22.
56. Yue B, Varadarajan KM, Ai S, Tang T, Rubash HE, Li G. Differences of Knee Anthropometry Between Chinese and White Men and Women. *J Arthroplasty*. 2011 Jan;26(1):124–30.
57. Kawahara S, Matsuda S, Fukagawa S, Mitsuyasu H, Nakahara H, Higaki H, et al. Upsizing the femoral component increases patellofemoral contact force in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 2012 Jan;94-B(1):56–61.
58. Kim D-I, Kwak D-S, Han S-H. Sex determination using discriminant analysis of the medial and lateral condyles of the femur in Koreans. *Forensic Sci Int*. 2013 Dec;233(1–3):121–5.
59. Merchant AC, Arendt EA, Dye SF, Fredericson M, Grelsamer RP, Leadbetter WB, et al. The Female Knee: Anatomic Variations and the Female-specific Total Knee Design. *Clin Orthop Relat Res*. 2008 Dec;466(12):3059–65.
60. Hirschmann MT, Moser LB, Amsler F, Behrend H, Leclercq V, Hess S. Functional knee phenotypes: a novel classification for phenotyping the coronal lower limb alignment based on the native alignment in young non-osteoarthritic patients. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc*. 2019 May;27(5):1394–402.
61. Rojanasthien S, Okamoto R, Ozawa N, Koshino T. Tibial plateau-fibular head distance of normal Japanese knees measured in lateral view of roentgenogram. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi*. 1989 Nov;63(11):1353–7.
62. Havet E, Gabrion A, Leiber-Wackenheim F, Vernois J, Olory B, Mertl P. Radiological study of the knee joint line position mea-

- sured from the fibular head and proximal tibial landmarks. *Surg Radiol Anat.* 2007 May;29(4):285–9.
63. Bellemans J, Colyn W, Vandenuecker H, Victor J. The Chitranjan Ranawat Award: Is Neutral Mechanical Alignment Normal for All Patients?: The Concept of Constitutional Varus. *Clin Orthop Relat Res.* 2012 Jan;470(1):45–53.
 64. Hovinga KR, Lerner AL. Anatomic variations between Japanese and Caucasian populations in the healthy young adult knee joint. *J Orthop Res.* 2009 Sep;27(9):1191–6.
 65. Tamari K, Tinley P, Briffa K, Aoyagi K. Ethnic-, gender-, and age-related differences in femorotibial angle, femoral antetorsion, and tibiofibular torsion: Cross-sectional study among healthy Japanese and Australian Caucasians. *Clin Anat.* 2005 Nov;19(1):59–67.
 66. Kwak D-S, Han S, Han CW, Han S-H. Resected femoral anthropometry for design of the femoral component of the total knee prosthesis in a Korean population. *Anat Cell Biol.* 2010;43(3):252.
 67. Urabe K, Miura H, Kuwano T, Matsuda S, Nagamine R, Sakai S, et al. Comparison between the shape of resected femoral sections and femoral prostheses used in total knee arthroplasty in Japanese patients: simulation using three-dimensional computed tomography. *J Knee Surg.* 2003 Jan;16(1):27–33.
 68. Loures FB, de Araújo Góes RF, da Palma IM, Labronici PJ, Granjeiro JM, Olej B. Anthropometric study of the knee and its correlation with the size of three implants available for arthroplasty. *Rev Bras Ortop (English Ed.)* 2016 May;51(3):282–9.
 69. Gaillard R, Bankhead C, Budhiparama N, Batailler C, Servien E, Lustig S. Influence of Patella Height on Total Knee Arthroplasty: Outcomes and Survival. *J Arthroplasty.* 2019 Mar;34(3):469–77.
 70. McCrory P. *Campbell's operative orthopaedics*, 10th ed (4 vols). *Br J Sports Med.* 2004 Jun;38(3):367 LP-- 367.

71. Mahoney OM, Kinsey T. Overhang of the Femoral Component in Total Knee Arthroplasty: Risk Factors and Clinical Consequences. *J Bone Jt Surgery-American Vol.* 2010 May;92(5):1115–21.
72. Yang B, Song C, Yu J, Yang Y, Gong X, Chen L, et al. Intraoperative anthropometric measurements of tibial morphology: comparisons with the dimensions of current tibial implants. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2014 Dec;22(12):2924–30.
73. Westrich GH, Agulnick MA, Laskin RS, Haas SB, Sculco TP. Current analysis of tibial coverage in total knee arthroplasty. *Knee.* 1997 Jun;4(2):87–91.
74. Marmor S, Renault E, Valluy J, Saffarini M. Over-voluming predicted by pre-operative planning in 24% of total knee arthroplasty. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2018 Jun;
75. Bonnin MP, de Kok A, Verstraete M, Van Hoof T, Van der Straten C, Saffarini M, et al. Popliteus impingement after TKA may occur with well-sized prostheses. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2017 Jun;25(6):1720–30.
76. Bonnin MP, Schmidt A, Basigliani L, Bossard N, Dantony E. Mediolateral oversizing influences pain, function, and flexion after TKA. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2013 Oct;21(10):2314–24.
77. Bloebaum RD, Bachus KN, Mitchell W, Hoffman G, Hofmann AA. Analysis of the bone surface area in resected tibia. Implications in tibial component subsidence and fixation. *Clin Orthop Relat Res.* 1994 Dec;(309):2–10.
78. Mihalko W, Fishkin Z, Krakow K. Patellofemoral Overstuff and Its Relationship to Flexion after Total Knee Arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2006 Aug;449:283–7.
79. Bonnin MP, Saffarini M, Bossard N, Dantony E, Victor J. Morphometric analysis of the distal femur in total knee arthroplasty and native knees. *Bone Joint J.* 2016 Jan;98-B(1):49–57.
80. Bonnin MP, Saffarini M, Nover L, van der Maas J, Haeberle C, Hannink G, et al. External rotation of the femoral component

increases asymmetry of the posterior condyles. *Bone Joint J.* 2017 Jul;99-B(7):894–903.

81. Thienpont E, Becker R. Anthropometric measurements of the knee: time to make it fit. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2014 Dec;22(12):2889–90.
82. Bonnin MP, Saffarini M, Shepherd D, Bossard N, Dantony E. Oversizing the tibial component in TKAs: incidence, consequences and risk factors. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2016 Aug;24(8):2532–40.
83. Ettinger M, Claassen L, Paes P, Calliess T. 2D versus 3D templating in total knee arthroplasty. *Knee.* 2016 Jan;23(1):149–51.
84. Gaizo D, Soileau E, Lachiewicz P. Value of Preoperative Templating for Primary Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg.* 2009 Jan;22(04):284–93.
85. Trickett RW, Hodgson P, Forster MC, Robertson A. The reliability and accuracy of digital templating in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 2009 Jul;91-B(7):903–6.
86. Perkembangan Indeks Daya Saing Global Indonesia Tahun 2020. Pusat Kajian Anggaran Badan Keahlian, Sekretariat Jenderal Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia.
87. Global Competitiveness Report 2020. World Economic Forum.
88. Kapoor M, Martel-Pelletier J, Lajeunesse D, Pelletier J-P, Fahmi H. Role of proinflammatory cytokines in the pathophysiology of osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol.* 2011;7(1):33–42



Publishing randomised controlled prospective studies, based on high quality methodology and not “positive” results, is not only increasing quality, but also decreasing quantity of published articles

(Nelissen RGHH, Thesis 1995)

Some surgeons may prefer to practice as they were trained, ignoring scientific data and experiences outside their country.

(Verhaar, J., Haelio Orthopaedics Today Europe, March 2018)

Anyone who stops learning is old, whether at twenty or eighty. Anyone who keeps learning stays young. The greatest thing in life is to keep your mind young.

(Henry Ford, 1863 - 1947) Never stop learning while you can



MERINTIS KEMANDIRIAN BANGSA DALAM TEKNOLOGI KATALIS

Prof. Dr. Ir. Subagjo, DEA

MERINTIS KEMANDIRIAN BANGSA DALAM TEKNOLOGI KATALIS

Prof. Dr. Ir. Subagjo, DEA

Institut Teknologi Bandung

*Disampaikan dalam Acara Penghargaan Habibie Prize,
Jakarta, November 2021.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah Swt. sehingga saya dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Terima kasih saya sampaikan kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar pada 3 Pebruari 2018.

Pidato ilmiah saya berjudul “Merintis Kemandirian Bangsa dalam Teknologi Katalis” ini merupakan rekam jejak saya dalam menjalankan tugas sebagai dosen dengan melaksanakan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat dalam bidang Katalis dan Katalisis.

Semoga tulisan ini dapat memberikan wawasan dan inspirasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

1. PENDAHULUAN

Katalis memegang peran sangat penting pada penyelenggaraan dan pengembangan industri kimia. Dewasa ini hampir setiap produk industri kimia dihasilkan melalui proses yang memanfaatkan jasa katalis.

Secara sederhana katalis dapat didefinisikan sebagai zat yang dapat mempercepat dan mengarahkan reaksi. Dengan katalis, reaksi dapat diselenggarakan pada kondisi yang lebih lunak (temperatur dan tekanan rendah) dengan laju dan selektifitas yang tinggi. Kemampuan inilah yang kini menjadi tumpuan harapan manusia untuk memenuhi tuntutan efisiensi waktu, bahan baku, energi, dan pelestarian lingkungan.

Secara sengaja penambahan “senyawa asing untuk melangsungkan reaksi” baru dimulai pada pertengahan abad ke-18 yaitu ketika Roebuck dan yang lain memperkenalkan proses kamar timbal, pada tahun 1746, untuk oksidasi SO_2 menjadi SO_3 dengan penambahan sedikit NO_2 . Pada abad ke-19, penelitian tentang penggunaan senyawa asing untuk melangsungkan reaksi makin menarik minat banyak peneliti.

Perkembangan penggunaan senyawa asing tersebut diikuti oleh ahli kimia dari Swedia bernama Jon Jakob Berzelius. Pada tahun 1836, setelah melengkapi dengan hasil penelitiannya, ia menyimpulkan bahwa “senyawa-senyawa asing tersebut memiliki kemampuan untuk mengaktifkan senyawa-senyawa yang bereaksi, tanpa senyawa asing itu sendiri mengalami perubahan keadaan”. Selanjutnya Berzelius mengusulkan istilah “katalisis” untuk peristiwa pengaktifan reaktan tersebut dan “katalis” untuk senyawa yang memiliki kemampuan mengaktifkan reaktan-reaktan yang bereaksi.

Menyusul definisi yang diberikan oleh Barzelius, pada tahun 1842 Mitscherlich mengusulkan konsep *contact action* katalis terha-

dapat berlangsung. Gagasan ini merupakan kesimpulan dari hasil-hasil penelitian tentang oksidasi hidrogen dengan katalis logam Pt yang menunjukkan bahwa reaksi dapat berlangsung jika permukaan logam yang digunakan berada pada keadaan murni dan bersih. Hasil ini menunjukkan bahwa katalis tidak hanya sekedar hadir dalam memengaruhi reaksi, tetapi harus mengadakan kontak dengan reaktan(-reaktan) yang terlibat reaksi.

Hasil-hasil penelitian berikutnya semakin memperjelas peran katalis dalam mempercepat reaksi. Pada tahun 1901, Ostwald memperbaiki definisi yang telah diusulkan Barzelius sebelumnya. Menurut Ostwald, katalis adalah zat yang bila dilibatkan dalam reaksi dapat mempercepat reaksi dan tidak tergabung dalam produk reaksi. Setelah melaksanakan studi kinetika berbagai reaksi dan memperhatikan prinsip termodinamika reaksi yang dikemukakan oleh van't Hoff, Ostwald menambahkan beberapa penjelasan berikut ini.

- 1) Katalis dapat mempercepat reaksi yang menurut hukum termodinamika dapat berlangsung atau dengan ungkapan lain katalis tidak dapat menyebabkan berlangsungnya reaksi yang menurut hukum termodinamika tidak mungkin terjadi.
- 2) Katalis mempercepat reaksi mencapai kesetimbangan, tetapi tidak mengubah kesetimbangan reaksi. Ini berarti bahwa untuk reaksi reversibel katalis yang mempercepat reaksi ke kanan juga mempercepat reaksi ke kiri.
- 3) Untuk reaksi yang berlangsung mengikuti beberapa arah reaksi (reaksi paralel), katalis tertentu hanya mempercepat satu arah reaksi saja.

Definisi katalis menurut Ostwald tersebut hingga kini masih dapat diterima dan merupakan penjelasan ringkas tentang kemampuan yang dimiliki katalis, yaitu mempercepat dan mengarahkan reaksi untuk mencapai kesetimbangan.

2. PERAN KATALIS DALAM REAKSI KIMIA

Pada dasarnya reaksi adalah proses penyusunan (pemutusan dan pembentukan) ikatan atom dalam molekul-molekul reaktan sehingga diperoleh molekul dengan struktur kimia yang berbedadari reaktannya. Unjuk kerja reaksi (konversi dan laju reaksi) ditentukan oleh dua sifat reaksi, yaitu sifat termodinamika dan sifat kinetika.

Pemahaman kedua sifat ini sangat diperlukan dalam penyelenggaraan reaksi terutama dalam kegiatan perancangan kondisi reaksi, perancangan reaktor, evaluasi unjuk kerja reaktor, dan pengendalian kondisi reaksi.

2.1 Sifat Termodinamika Reaksi

Sifat termodinamika reaksi, secara kuantitatif, dapat dinyatakan dengan besaran termodinamikperubahan energi bebas Gibbs (ΔG) dan entalpi (ΔH) reaksi. Kedua sifat tersebut menentukan perilaku reaksi, yaitu konversi kesetimbangan (konversi maksimum) dan kalor yang dibutuhkan atau dihasilkan reaksi. Konversi maksimum suatu reaksi dapat dijadikan bahan penilaian kelayakan komersial reaksi dan target dalam perancangan dan penyelenggaraan reaksi.

Sifat termodinamika juga memberikan informasi tentang kalor yang dihasilkan atau dibutuhkan reaksi. Informasi ini sangat berguna dalam menentukan jenis, bentuk, dan dimensi reaktor serta jenis, bentuk, dan ukuran katalis agar kalor yang dibutuhkan atau dihasilkan oleh reaksi dapat dipenuhi atau diambil secepat dan seefisien mungkin sehingga operasi dapat dilangsungkan secara cepat, aman, dan lancar.

2.2 Sifat Kinetika Reaksi

Sifat kinetika reaksi mengungkapkan hubungan antara kondisi reaksi dengan laju reaksi. Biasanya dinyatakan dengan persamaan laju reaksi.

Menurut teori kinetika gas, reaksi dapat berlangsung jika terjadi kontak antara molekul reaktandengan orientasi yang tepat dan energi yang cukup. Dengan demikian, laju reaksi sama dengan

jumlah tumbukan yang memenuhi syarat di atas setiap satuan waktu. Secara matematik ungkapan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$r = Z(C_i)f_p f_o \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

dengan

- Z : jumlah tumbukan tiap satuan waktu tiap satuan volum
 C_i : konsentrasi molekul reaktan i .
 f_p : faktor kemungkinan tumbukan antarreaktan
 f_o : faktor orientasi tumbukan
 E_a : energi pengaktifan reaksi (selalu bernilai positif)
 R : tetapan gas universal
 T : temperatur reaksi

Persamaan di atas mengungkapkan bahwa reaksi dapat dipercepat melalui berbagai cara, yaitu: menaikkan temperatur reaksi (T), menaikkan konsentrasi (C_i) atau tekanan parsial (P_i) reaktan, meningkatkan kemungkinan tumbukan antar reaktan (f_p), meningkatkan ketepatan orientasi tumbukan (f_o), dan menurunkan energi pengaktifan (E_a).

2.3 Katalis Mempercepat Reaksi

Menurut Sabatier, katalis dapat mempercepat reaksi karena kemampuannya berinteraksi dengan paling sedikit satu reaktan untuk menghasilkan senyawa-antara yang sangat aktif. Interaksi ini akan meningkatkan laju reaksi sebagai akibat dari satu atau beberapa hal berikut ini:

- 1) Terjadi alur reaksi dengan energi pengaktifan (E_a) yang lebih rendah,
- 2) Peningkatan ketepatan orientasi tumbukan (f_o),
- 3) Peningkatan kemungkinan tumbukan antar reaktan (f_p), dan

- 4) Peningkatan konsentrasi akibat lokalisasi reaktan, sehingga meningkatkan jumlah tumbukan (Z).

Sebagai contoh, berikut ini disajikan hasil penentuan laju hidrogenasi etilena tanpa katalis dan dengan katalis CuO-MgO.

Persamaan laju reaksi tanpa katalis

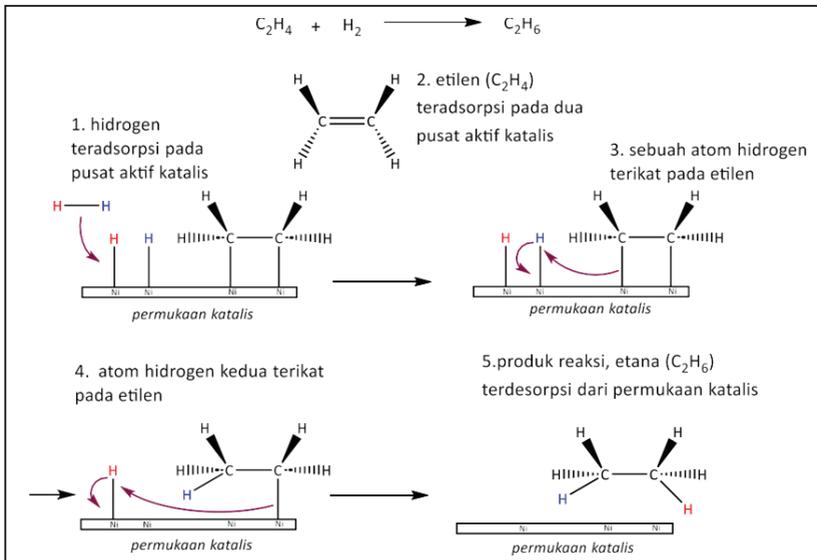
$$r_o = 10^{27} \exp\left(-\frac{43000}{RT}\right) P_{H_2} \quad (2)$$

Persamaan laju reaksi dengan reaksi

$$r_o = 2 \times 10^{27} \exp\left(-\frac{13000}{RT}\right) P_{H_2} \quad (3)$$

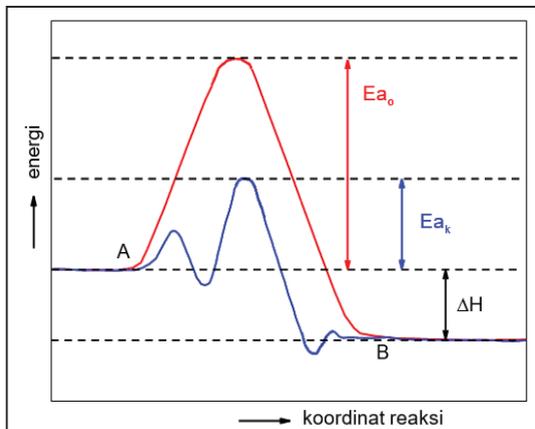
Hasil tersebut menunjukkan bahwa katalis CuO-MgO dapat meningkatkan faktor frekuensi (mencakup Z , f_o , dan f_p) dua kali lipat dan menurunkan energi pengaktifan dari 43 kcal/mol menjadi 13 kcal/mol. Pada temperatur 600 K perbandingan antara laju hidrogenasi berkatalis dan tanpa katalis (r_k/r_o) adalah $1,4 \times 10^{11}$. Peningkatan laju reaksi yang luar biasa besar terutama disebabkan oleh penurunan energi pengaktifan (E_a).

Gambar-gambar di bawah ini menunjukkan contoh hasil interaksi katalis dengan reaktan membentuk senyawa aktif (gambar 1.) dan penurunan energi pengaktifan reaksi (gambar 2.) akibat interaksi tersebut.



Gambar 1. Hidrogenasi Etilena dengan Katalis Nikel

Gambar 1. menunjukkan interaksi hidrogen dan etilena dengan pusat aktif katalis Ni membentuk 2 atom hidrogen teradsorpsi dan etilena teradsorpsi pada dua pusat aktif dengan membentuk ikatan C—Ni hasil pembukaan ikatan rangkap.

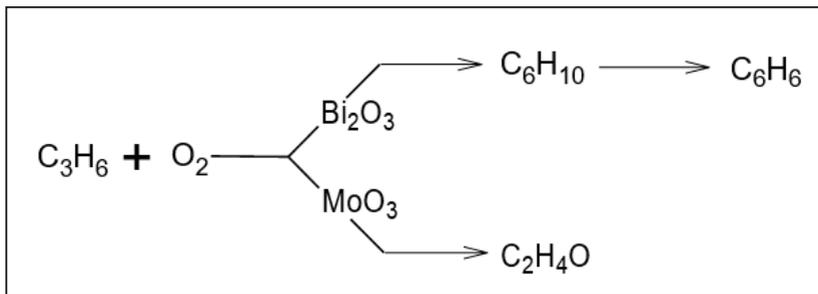


Gambar 2. Interaksi katalis dan reaktan mengakibatkan penurunan energi aktivasi.

Gambar 2. mengilustrasikan interaksi katalis dengan reaktan menyebabkan terjadinya alur baru yang terdiri dari tiga tahap reaksi (ditandai dengan adanya tiga titik belok) dan mengakibatkan penurunan energi aktivasi reaksi dari E_{a_0} menjadi E_{a_k} .

Senyawa-antara hasil interaksi katalis dan reaktan sangat aktif sehingga secara cepat dapat mengalami perubahan-perubahan mengikuti tahap reaksi yang berlangsung sampai akhirnya menjadi produk dan meninggalkan katalis kembali pada bentuknya semula. Pembentukan senyawa-antara yang sangat aktif ini memungkinkan penggunaan sejumlah kecil katalis untuk meningkatkan laju reaksi sejumlah besar campuran reaktan.

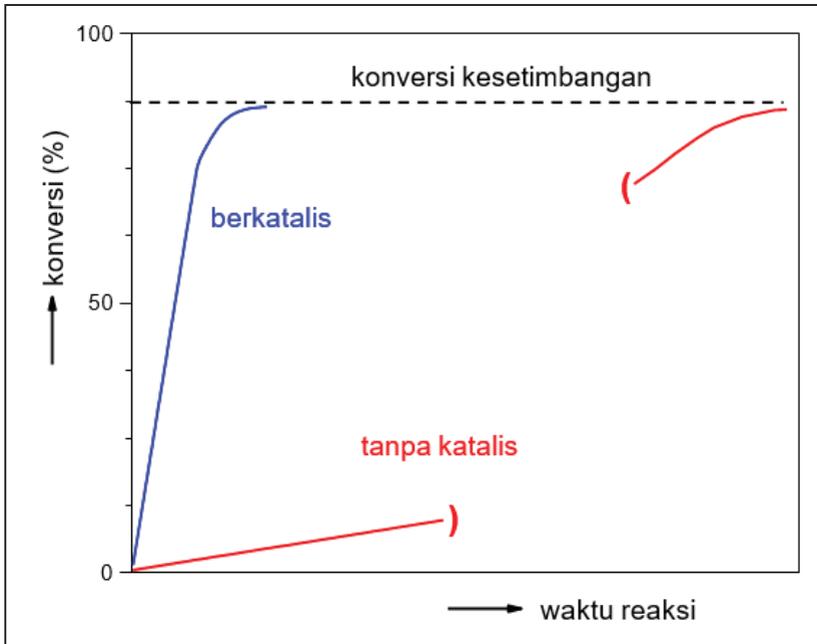
Pada umumnya katalis bersifat spesifik, artinya katalis tertentu hanya mempercepat reaksi tertentu saja.



Gambar 3. Katalis hanya mempercepat satu jalur reaksi saja.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan produk tersebut merupakan akibat dari perbedaan senyawa-antara yang terbentuk dan/atau alur reaksi yang diselenggarakan oleh tiap katalis.

Katalis hanya dapat meningkatkan laju reaksi (sifat kinetika), tetapi tidak memengaruhi sifat termodinamika reaksi, seperti ilustrasi pada Gambar 4. berikut.



Gambar 4. Katalis mempercepat reaksi untuk mencapai kesetimbangan.

Keterlibatan katalis dalam reaksi tidak dapat menggeser kesetimbangan reaksi, artinya katalis hanya mempercepat reaksi untuk mencapai kesetimbangan atau dengan kata lain selain mempercepat reaksi ke kanan, katalis juga mempercepat reaksi ke kiri.

3. KATALIS HETEROGEN (KATALIS PADAT)

Berdasarkan fasa katalis, reaktan, dan produk reaksinya maka katalis dapat dikelompokkan dalam katalis homogen yang berfasa sama dengan fasa campuran reaksinya dan katalis heterogen yang berbeda fasa dengan reaktan dan produk reaksinya. Katalis homogen pada umumnya memiliki aktivitas dan selektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis

heterogen karena setiap molekul-katalis aktif sebagai katalis. Katalis heterogen yang biasanya berupa padatan, memiliki pusat

aktif yang tidak seragam. Tidak semua bagian permukaan padatan dapat berfungsi sebagai pusat aktif dan tidak semua pusat aktif memiliki keaktifan yang sama. Bahkan pada keadaan yang terburuk, bagian permukaan yang satu dapat meracuni bagian lainnya. Heterogenitas permukaan ini menyebabkan katalis heterogen menjadi kurang efektif dibandingkan dengan katalis homogen.

Sekalipun katalis homogen banyak memiliki keunggulan dibandingkan dengan katalis heterogen, namun katalis heterogen tetap menjadi primadona dalam industri karena mudah dipisahkan dari campuran reaksinya dan lebih stabil terhadap perlakuan termal sehingga jika diperlukan, reaksi dan/atau regenerasi katalis dapat dilakukan pada temperatur tinggi. Dewasa ini penggunaan katalis padat di industri mencapai sekitar 80%.

Dengan tujuan memudahkan pemisahnya, beberapa katalis homogen ditambatkan di permukaan penyangga padat dan disebut *Heterohomogeneous catalyst* (katalis homogen yang diheterogenkan).

Katalis dibentuk dari komponen-komponen yang dapat menunjang sifat katalis yang diharapkan. Pada dasarnya sifat-sifat katalis yang diharapkan adalah aktif, selektif, tahan terhadap gangguan (baik fisika, kimia, termal, maupun mekanika), dan murah. Selain itu, khusus untuk katalis heterogen pada kondisi tertentu dibutuhkan sifat-sifat lain, di antaranya konduktivitas termal yang tinggi serta memberikan distribusi aliran yang merata dan hilang tekan (*pressure drop*) yang rendah. Untuk memenuhi sifat-sifat tersebut, umumnya katalis padat dibentuk dari 3 komponen utama, yaitu komponen aktif, penyangga (*support*), dan promotor. Tiap komponen, masing-masing atau secara bersama-sama, dapat memberikan sifat-sifat katalis yang diinginkan.

3.1 Komponen Aktif

Komponen aktif mengemban fungsi utama katalis, yaitu mempercepat dan mengarahkan reaksi. Oleh karena itu, komponen ini harus aktif mengonversikan reaktan dan selektif pada pembentukan produk yang diinginkan serta enggan mempromosikan reaksi yang tidak diinginkan.

Komponen aktif katalis padat dapat dikelompokkan berdasarkan sifat konduktivitas-listriknnya. Pengelompokkan dengan cara ini sekaligus dapat memilah katalis sesuai dengan tipe reaksi terutama faktor yang paling berpengaruh (geometri dan elektronik). Tabel 1. berikut ini menampilkan kelompok- kelompok komponen aktif katalis tersebut.

Tabel 1. Pengelompokkan Komponen Aktif Katalis

Kelompok komponen aktif	Konduktor (logam)	Semikonduktor (logam oksida/sulfida)	Insulator (garam dan padatan asam)
Tipe reaksi	Redoks	Redoks	Asam-basa
Kelompok reaksi yang sesuai	Hidrogenasi Dehidrogenasi Hidrogenolisis Oksidasi Reduksi	Oksidasi Reduksi Dehidrogenasi Siklisasi Hidrogenasi	Polimerisasi Isomerisasi Perengkahan Dehidrasi Alkilasi Perpindahan hidrogen Halogenasi Dehalogenasi
Contoh	Fe, Co, Ni, Rh, Pt, Pd, Ru, Cu, Ag, Os	CuO, AgO, NiO, Fe ₃ O ₄ , Cr ₂ O ₃ , MoO ₃ , WO ₃ , CoO ₃ , V ₂ O ₅ , TiO ₂ , ZnO, CdO	lempung alam, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ - Al ₂ O ₃ , zeolit

Dalam praktik sering dijumpai katalis yang difungsikan untuk mempercepat dua jenis reaksi sekaligus, misalnya hidrogenasi dan isomerisasi. Katalis yang mengemban dua fungsi seperti itu disebut katalis dwifungsi (*bifunctional catalyst*). Untuk contoh tersebut katalis harus mengandung dua komponen aktif, yaitu dari anggota kelompok logam (misal Pt) untuk mempercepat hidrogenasi dan anggota kelompok padatan asam (misal Al₂O₃) untuk mempercepat proses isomerisasi.

3.1.1 Katalis Logam

Katalis logam merupakan katalis yang paling banyak digunakan di industri. Lebih dari 70% reaksi berkatalis melibatkan katalis logam. Logam transisi paling banyak digunakan karena memiliki orbital d yang tidak terisi penuh. Sifat ini menyebabkan logam transisi mudah berkoordinasi dengan reaktan. Umumnya, logam dalam satu golongan (dalam daftar periodik) memiliki keaktifan yang hampir sama karena memiliki konfigurasi elektron yang sama. Di antara logam-logam transisi, logam golongan VIII sering merupakan katalis yang aktif.

Logam alkali dan alkali tanah sangat mudah terionisasi sehingga sangat kurang aktif sebagai katalis, tetapi banyak digunakan sebagai promotor. Sementara itu, logam tanah jarang (*rare earth*) sukar diproduksi dalam bentuk logam karena terlalu reaktif. Dalam bentuk oksidanya, logam tanah jarang sering digunakan sebagai promotor dan kadang-kadang sebagai katalis.

3.1.2 Katalis Oksida Logam

Oksida logam dan sulfida logam bersifat semikonduktor tipe p atau tipe n. Sifat ini menyebabkan pada temperatur yang relatif tinggi dapat menyumbangkan atau menampung elektron yang terlibat reaksi. Seperti katalis logam, golongan katalis ini banyak digunakan sebagai katalis reaksi redoks (reduksi-oksidasi) tetapi dengan keaktifan yang berbeda. Dalam hal reaksi hidrogenasi katalis logam lebih aktif, tetapi dalam reaksi oksidasi termasuk oksidatif dehidrogenasi yakni oksida logam lebih aktif daripada katalis logam.

3.1.3 Katalis Insulator (Katalis Asam Basa)

Katalis ini tidak memiliki kemampuan untuk memindahkan elektron. Oleh karena itu, katalis insulator tidak aktif dalam reaksi redoks, tetapi karena memiliki pusat asam (baik Bronsted maupun Lewis) maka kelompok insulator umumnya aktif dalam reaksi yang melibatkan senyawa-senyawa karbokation dan karbanion, seperti polimerisasi, perengkahan, dan isomerisasi.

Aktivitas dan selektivitas terutama ditentukan oleh jenis pusat asam (Lewis atau Bronsted), jumlah, dan kekuatan asam pusat asam katalis. Faktor-faktor di atas dapat diatur dengan mudah pada saat pembuatan katalis. Pada zeolit misalnya, semakin tinggi Al/Si maka semakin banyak pusat asam, tetapi semakin lemah kekuatannya. Cara-cara lain seperti pertukaran ion dan pemanasan dengan kukus dapat juga digunakan untuk mengatur keasaman zeolit.

Zeolit termasuk katalis yang istimewa dalam golongan ini. Selain memiliki pusat asam, pori-pori zeolit berukuran molekul sehingga dapat digunakan sebagai saringan molekul reaktan, produk, maupun senyawa-antara. Sifat ini menyebabkan zeolit lebih spesifik dan dapat digolongkan dalam katalis yang selektif terhadap bentuk (reaktan, produk, maupun senyawa-antara). Ukuran dan dimensi pori sangat menentukan aktivitas dan selektivitas zeolit yang dapat diatur pada saat pembuatannya.

3.2 Penyangga

Pada katalisis heterogen dengan katalis padat, reaksi berlangsung di permukaan katalis. Oleh karena itu, katalis heterogen harus dapat menyediakan permukaan yang luas dan biasanya berkisar antara 10-300 m²/gram. Padahal, komponen aktif katalis umumnya tidak memiliki permukaan yang luas dalam bentuk butiran yang besar (beberapa mm) sehingga tidak seluruh pusat aktifnya dapat kontak dengan reaktan. Oleh karena itu, komponen aktif perlu ditebarkan dalam bentuk partikel yang sangat kecil (beberapa nm) di permukaan penyangga berpermukaan luas. Adapun tujuannya untuk memperluas permukaan kontak antara komponen aktif dan reaktan tanpa mengurangi aktivitas intrinsik komponen aktif itu sendiri.

Beberapa keuntungan yang dapat diraih dengan penebaran komponen aktif di permukaan penyangga ini adalah:

- 1) Keaktifan katalis per satuan berat komponen aktif meningkat.
- 2) Komponen aktif yang biasanya mahal dapat digunakan secara lebih efektif.

Penyangga umumnya dipilih dari jenis padatan berpori sehingga dalam pemilihan penyangga, ukuran dan distribusi pori harus dipertimbangkan untuk dimanfaatkan. Penyangga dengan pori berdiameter kecil memiliki permukaan yang luas, tetapi dalam penggunaannya sebagai katalis dapat menghasilkan hambatan difusi reaktan atau produk. Sebaliknya, semakin besar diameter pori maka semakin kecil luas permukaan padatan. Diameter pori harus dipilih pada nilai yang optimum dan sebaiknya seragam.

Sifat padatan yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan penyangga adalah keinertan, kekuatan mekanikal, kestabilan termal pada rentang kondisi reaksi dan regenerasi, luas permukaan, porositas, dan harga.

Di antara banyak padatan yang dapat digunakan sebagai penyangga, hanya tiga yang memiliki kombinasi yang baik dari keenam sifat di atas, yaitu alumina, silika, dan karbon aktif. Dari ketiga padatan itu, alumina adalah padatan yang paling banyak digunakan di industri.

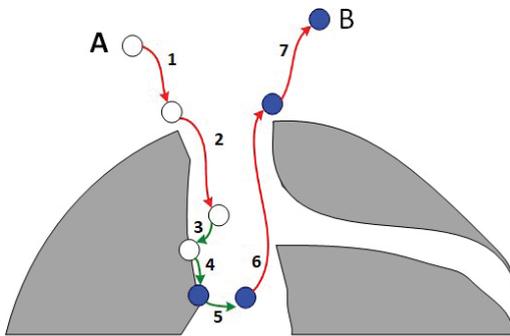
3.3 Promotor

Promotor ditambahkan pada katalis dengan maksud untuk meningkatkan kinerja katalis (aktivitas dan/atau selektivitas dan/atau stabilitas). Lazimnya, promotor ditambahkan dalam jumlah kecil pada saat pembuatan katalis.

Promotor umumnya tidak aktif, tetapi penambahannya pada katalis dapat memperbaiki kinerja katalis. Kenyataan ini menunjukkan adanya interaksi secara fisika dan/atau kimia antara promotor dengan komponen lain dalam katalis.

4. TAHAP REAKSI BERKATALIS PADAT

Pada katalis heterogen, situs atau pusat aktif reaksi terutama berada di permukaan pori katalis. Reaktan, untuk dapat berinteraksi dengan pusat aktif katalis, harus terlebih dahulu berpindah (berdifusi) dari fasa fluida ke permukaan luar katalis, lalu menyusuri pori menuju ke pusat aktif dipermukaan dalam katalis. Secara lengkap tahap kejadian yang berlangsung pada reaksi berkatalis disajikan dalam Gambar 5. berikut ini.



- 1) Perpindahan reaktan dari fasa fluida ke permukaan luar katalis.
- 2) Difusi di dalam pori katalis.
- 3) Adsorpsi reaktan.
- 4) Reaksi di permukaan.
- 5) Desorpsi produk.
- 6) Difusi produk keluar pori.
- 7) Perpindahan produk dari permukaan luar katalis ke fasa fluida.

Gambar 5. Tahap-tahap Reaksi Berkatalis

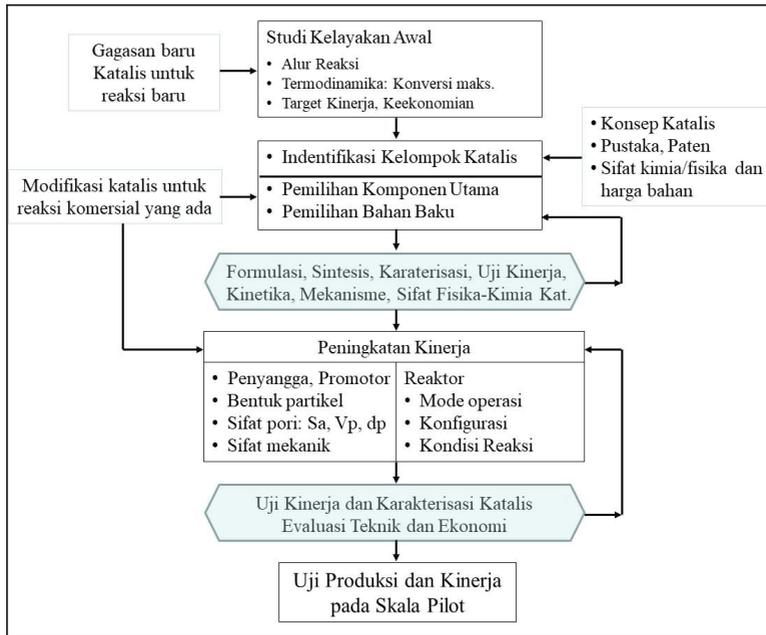
Pada katalis heterogen, selain berlangsung kejadian/peristiwa kimia (tahap 3, 4, dan 5) juga kejadian/peristiwa fisika (tahap 1, 2, 6, dan 7). Pada dasarnya tahap-tahap peristiwa fisika (difusi) tersebut menambah hambatan proses secara keseluruhan. Oleh karena itu, dalam praktik, peristiwa fisika diusahakan berlangsung secepat mungkin agar tidak menghambat reaksi.

5. PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KATALIS

Sasaran akhir dan utama penelitian katalis adalah merancang katalis dengan kinerja yang baik (aktif, selektif, stabil, dan murah) sehingga dapat digunakan di industri. Penelitian untuk pengembangan katalis industri membutuhkan dana sangat besar dan waktu panjang. Pengembangan metallocene, katalis polimerisasi olefin, membutuhkan dana 3 milyar Dolar Amerika dan waktu lebih dari 10 tahun. Meskipun demikian, penjualan katalis tersebut pada tahun 2000 di Eropa dapat mencapai 2,5 milyar Dolar Amerika.

Katalis yang optimum untuk suatu reaksi hampir tidak mungkin diperoleh secara langsung dari satu rangkaian tahap pengembangan katalis, tetapi hampir selalu melalui tahap iterasi yang panjang dari proses sintesis, karakterisasi, dan uji kinerja katalis. Sering untuk penjarangan awal saja harus diuji 500-1000 komposisi kandidat katalis. Pada 1910 tim peneliti di bawah pimpinan Mitash berhasil mendapatkan katalis sintesis amoniak (NH_3) setelah menguji sekitar 20.000 kandidat katalis. Saat ini untuk mempercepat penjarangan formula dapat digunakan teknik kombinatorial.

Secara ringkas dan sederhana tahapan pengembangan katalis disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tahap Pengembangan Katalis Industrial

Pada tahap pembuatan skala pilot sering masih perlu dilakukan iterasi proses sintesis- karakterisasi-uji kinerja untuk meyakinkan pembuatan katalis pada skala lebih besar juga menghasilkan katalis yang memiliki sifat dan kinerja yang baik.

6. KEBUTUHAN KATALIS DI INDONESIA

Saat ini diperkirakan kebutuhan dunia akan katalis mencapai 21 milyar Dolar Amerika. Nilai yang tidak terlalu besar, tetapi nilai yang dibangkitkan dengan penggunaan katalis tersebut dapat mencapai 11-15 trilyun Dolar Amerika.

Kebutuhan Indonesia juga cukup besar, diperkirakan mencapai 500 juta Dolar Amerika dan hampir seluruhnya harus diimpor dari luar negeri. Hanya sebagian kecil saja diproduksi di Indonesia dengan lisensi dari luar negeri.

Keistimewaan peran katalis dalam industri menyebabkan banyak negara maju terutama Amerika Serikat selalu berusaha berada di garis terdepan dalam penguasaan ilmu dan teknologi katalisis. Tidak mengherankan saat ini 80% kebutuhan katalis dunia dipasok dari perusahaan-perusahaan asal Amerika Serikat.

Dari seluruh katalis yang digunakan di industri, sebenarnya hanya 40% yang dijual bebas di pasaran dan sisanya (60%) diproduksi untuk digunakan sendiri oleh industri pengembangnya. Monopoli penggunaan katalis ini tentu saja dimaksudkan agar pemilik resep dan teknologi katalis dapat tetap unggul dalam persaingan pasar. Kenyataan ini telah mendorong banyak industri dan lembaga negara untuk berusaha mandiri dalam bidang katalis. Demikian pula seharusnya Indonesia.

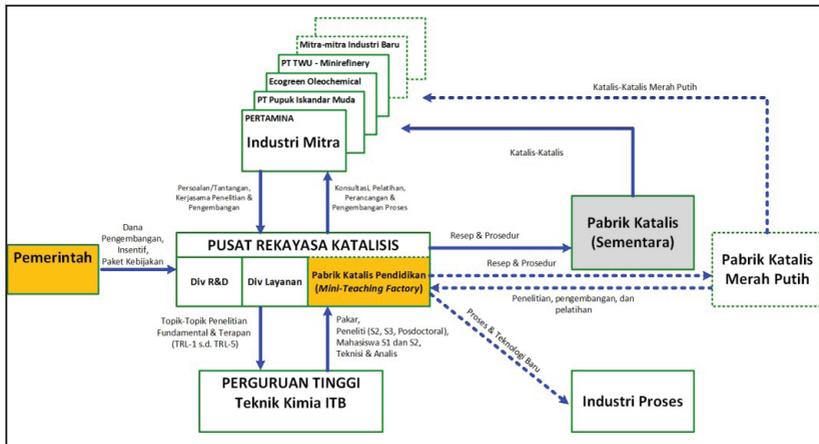
7. PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KATALIS DI ITB

Penguasaan teknologi produksi katalis memiliki nilai sangat strategis bagi ekonomi suatu negara. Pengembangan katalis industrial membutuhkan tim peneliti yang kuat. Oleh karena itu, sebaiknya pengembangan katalis di Indonesia saat ini dilakukan bersama oleh lembaga penelitian, perguruan tinggi, dan industri. Penelitian dasar hingga menghasilkan formula katalis yang baik dilakukan di lembaga penelitian dan/atau perguruan tinggi, sedangkan pengujian kinerja katalis menggunakan reaktor skala pilot dan skala komersial dilakukan di industri. Selain itu, industri jugadapat membantu menyediakan dana dan sarana pengujian, terutama pengujian dalam reaktor komersial. Namun, peluang untuk menemukan industri yang berkenan menjadi pasangan kerja sama bukan merupakan hal yang mudah di Indonesia.

Sejak 1996, Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis ITB (saat itu Laboratorium Konversi Termokimia) telah menerapkan pola kerjasama seperti digambarkan pada Gambar 7. Bersama mitra industri, kami menentukan sasaran penelitian. Penelitian dasar hingga formulasi katalis dilaksanakan di Lab Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis (Lab TRK), sedangkan pengujian kinerja katalis dalam skala pilot dan unit demonstrasi dilaksanakan di industri mitra. Penelitian merupakan sarana yang baik untuk mendidik para

mahasiswa sebagai calon peneliti sehingga dalam pengembangan katalis dan teknologi proses mahasiswa S1, S2, dan S3 selalu dilibatkan.

Gambar 7. Skema Kerja Sama Pengembangan Katalis dengan Industri



Produksi katalis dalam skala besar dapat dilakukan di industri mitra atau diproduksi oleh pabrik katalis yang ada. Di Indonesia, saat ini hanya ada satu pabrik katalis yaitu PT Clariant Kujung Katalis.

7.1 Perjalanan Merintis Kerja Sama dengan Berbagai Industri

Upaya untuk membangun kerja sama dengan industri sudah kami mulai sejak tahun 1985. Tidak mudah, setelah sepuluh tahun upaya tersebut baru membuahkan hasil. Dengan kerja sama ini diharapkan penelitian untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dapat berdampak positif pada kegiatan inovasi nasional.

7.1.1 Pengembangan Katalis Perengkahan Stearin

Pada tahun 1983-1987, saya dan Prof. Soedarno Harjosoparto melakukan pengembangan katalis untuk perengkahan stearin. Saat itu, stearin yang merupakan sisa pabrik minyak goreng belum dimanfaatkan dengan baik. Perengkahan stearin menggu-

nakan katalis zeolit dapat menghasilkan BBM, terutama bensin. Kami menawarkan topik menarik ini kepada rekan di Pertamina untuk dikembangkan bersama, tetapi ditolak karena dinilai tidak menguntungkan secara ekonomi. Sayangnya, penolakan tersebut membuat gerak penelitian kami melambat, padahal akhir-akhir ini proses perengkahan minyak nabati untuk menghasilkan “bensin hijau” merupakan alternatif yang sangat menarik.

Meskipun demikian, pada periode 1983-1987 itu kami telah belajar melakukan sintesis komponen utama katalis perengkahan, yaitu zeolit Y, zeolit Y yang distabilkan (USY) dan ZSM-5.

7.1.2 Pengembangan Unit Pembangkit Hipokhlorit

Pada tahun 1983, saya bersama Dr. Irwan Noezar, Prof. Soedarno, dan Prof. Soehadi Reksowardojo telah mengembangkan Unit Pembangkit Hipokhlorit, yaitu alat untuk mengkonversi larutan garam dapur menjadi desinfektan air minum. Konversi dilangsungkan dengan proses elektrolisa menggunakan elektroda yang distabilkan. Dana penelitiannya diperoleh dari Pemerintah Belanda melalui Proyek JTA-9A yang dipimpin oleh Prof. Soehadi.

Dalam merancang Unit Pembangkit Hipokhlorit untuk dikomersialkan, kami juga dibantu oleh Dr. Imam Buchori Zainuddin dari Jurusan Desain Produk, Fakultas Seni Rupa dan Desain, ITB.



Pada saat itu 64 unit dibeli oleh Departemen Kehutanan Republik Indonesia untuk desinfeksi air minum di daerah terpencil. Sayangnya, setelah Menteri Kehutanan diganti, pembelian unit pembangkit hipokhlorit terhenti. Beberapa perusahaan air minum, seperti PDAM dan Proyek Ibu Kota Kecamatan lebih senang menggunakan kaporit impor daripada harus membangkitkan sendiri hipokhlorit dari larutan garam dapur.

Gambar 8. Unit Pembangkit Setempat Hipokhlorit

Pada kedua upaya mencari pasangan kerja sama yang saya kisahkan tadi, kami lah yang berinisiatif membawa topik yang menurut kami sangat bermanfaat bagi kandidat pasangan kerja sama dan juga masyarakat Indonesia, tetapi keduanya gagal. Itulah sebabnya saya selalu menyampaikan bahwa mencari industri pasangan kerja sama penelitian bukanlah pekerjaan yang mudah, bahkan sangat sulit. Harus bertemu pimpinan industri yang militan dan alhamdulillah saya berkesempatan bertemu dengan pimpinan industri yang di dadanya bertengger garuda.

7.1.3 Pengembangan Adsorben H₂S Berbasis Besi Oksida

Pada 1994, saya dan Dr. Tatang Hernas Soerawidjaja bertemu dengan Ir Kadar Soeradimadja yang kala itu menjabat sebagai direktur litbang PT. Pupuk Iskandar Muda (PT. PIM). Beliau memberi tantangan kepada kami untuk mengembangkan adsorben H₂S yang saat itu harus diimpor dari Amerika dalam jumlah besar. Harganya tidak terlalu mahal, tetapi ongkos angkutnya sangat mahal.

Tantangan kami terima dan penelitian dimulai pada 1995. Penelitian digiatkan oleh mahasiswa S3 yakni Ir. Kamiso Purba, M.Sc. dan dibantu oleh mahasiswa S2 dan S1. Pada 1999, diperoleh formula adsorben dengan kinerja yang baik yakni memiliki kapasitas 2 kali lipat kapasitas adsorben yang selama ini diimpor oleh PT. PIM. Adsorben berbasis besi oksida tersebut kami beri nama PIMIT-B1. Meskipun demikian, hingga 2007, hasil penelitian ini hanya teronggok sebagai laporan, beberapa publikasi, dan sebuah dokumen paten yang masih dalam tahap verifikasi di Departemen HAKI.

Pada 2007, Ir Bambang Sedewo, yang saat itu menjabat sebagai direktur produksi PT. PIM berkeinginan mewujudkan hasil penelitian ini menjadi pabrik untuk menghasilkan adsorben dan alhamdulillah pada awal 2010 pabrik PIMIT-B1 berhasil dibangun. Sayangnya, pada saat pabrik sudah bisa memproduksi, PT. PIM mendapat gas yang bersih (hanya mengandung sedikit H₂S) sehingga tidak membutuhkan PIMIT-B1 lagi. Jadi, PIMIT-B1 harus dipasarkan ke industri lain dan tentu tidak mudah karena kepercayaan industri pada produk dalam negeri sangat rendah.



Pabrik besi oksida skala komersial yang dibangun di Pupuk Iskandar Muda (2010)

Gambar 9. Pabrik PIMIT-B1 Kapasitas 600 Ton/tahun

Secara cuma-cuma, sebanyak 5 ton PIMIT-B1 pernah diberikan kepada anak perusahaan suatu BUMN untuk pengujian dalam reaktor skala komersial. Meskipun hasilnya sangat memuaskan, tetapi untuk penggunaan tahun berikutnya perusahaan tersebut tetap membeli produk impor yang biasa digunakan dan tidak berkenan membeli PIMIT-B1. Jadi, untuk memasarkannya kami harus bertemu dengan pimpinan industri yang militan berda merah-putih.



Gambar 10. Unit Desulfurisasi Gas di Medco Lematang yang Menggunakan 15 Ton PIMIT-B1

Pada 2013, PT Medco Energy akhirnya menjadi perusahaan pertama yang membeli dan menggunakan 15 ton PIMIT-B1 untuk desulfurisasi gas di Lematang. Hasilnya memuaskan dan hingga 2016 Medco Energy telah menggunakan 90 ton PIMIT-B1. Mudah-mudahan Medco Energy akan membeli lebih banyak untuk digunakan di lapangan gas yang lain.

7.1.4 Pengembangan Katalis Hydrotreating Nafta

Sejak tahun 2000, saya bersama beberapa teman, di antaranya Dr. IGBN Makertihartha dan Dr. Melia Laniwati diminta membantu PT. Pertamina untuk melakukan evaluasi dan seleksi katalis *Atmospheric Residue Hydrodemetalization*. Perkenalan selama bekerja sama itu mungkin membuat Ir. Suroso, kala itu tahun 2003, menjabat Manajer Senior Keandalan dan JPS Direktorat Hilir Pertamina, mengajukan tantangan kepada kami untuk mengembangkan katalis *Naphtha Hydrotreating*. PT. Pertamina menjanjikan untuk menguji katalis hasil pengembangan ini dalam reaktor terkecil di Pertamina bervolume sekitar 5 m³.

Tantangan ini kami terima dan penelitian ini dimulai pada 2004. Penelitian digiatkan oleh mahasiswa S3, Maria Ulfah, dibantu oleh beberapa mahasiswa S2 dan S1. Formula katalis dengan kinerja yang baik diperoleh pada 2007. Kinerja katalis juga diuji menggunakan reaktor skala pilot (100 g katalis) di R&D Pertamina. Hasilnya menunjukkan katalis hasil pengembangan memiliki aktivitas sedikit lebih tinggi daripada katalis komersial. Oleh teman-teman di Pertamina, katalis ini diberi nama PK 100 HS dan dijuluki katalis merah putih pertama. Saya sendiri telah menyiapkan nama PITN 100-2T, katalis Pertamina-ITB untuk Treating Nafta (PITN), dengan komponen aktif nikel molibdenum tanpa promotor (100) berbentuk Trilobe berukuran 2 mm (2T).

Pada awal 2010, bersama R&D Pertamina, kami membangun pabrik katalis berukuran mini dengan kapasitas 50-100 kg/hari untuk memproduksi 4 ton katalis yang akan digunakan dalam uji coba komersial pertama. Pada 13 Juli 2011, sejumlah 3,6 ton PITN 100-2T diisikan ke dalam reaktor Hydrotreating, di kilang Dumai Pertamina untuk mengolah nafta umpan Platformer.



Gambar 11. PITN 100-2T digunakan di Reaktor NHT RU II Dumai PT Pertamina.

Beberapa hari saat *start-up*, kami semua merasa sangat tegang dan khawatir. Di dalam reaktor komersial, PITN 100-2T tidak bekerja sesuai target. Hingga akhirnya saya menerima SMS dari Ir Rahmad Sutontro di Dumai: “Pak Alhamdulillah katalis kita oye!” Seketika itu ketegangan meledak menjadi kegembiraan.

Pada Juli 2012 katalis dinyatakan terbukti memiliki unjuk kerja yang baik bahkan lebih baik daripada katalis impor yang sebelum ini digunakan pada unit tersebut. Tidak hanya aktivitasnya saja, tetapi juga stabilitasnya. Sejak keberhasilan ini, Pertamina memutuskan untuk selalu menggunakan katalis hasil pengembangan ITB-Pertamina untuk proses Hydrotreating, baik untuk nafta, kerosin, maupun diesel.

Penelitian di Laboratorium Dibalik Sukses PITN 100-2T

Penelitian untuk pengembangan katalis hydrotreating nafta dilaksanakan mengikuti tahapan yang disajikan dalam gambar 6.

Persiapan

Dimulai dengan memilih komponen aktif, yaitu Molibdenum-Nikel, Molibdenum-Cobalt, atau Wolfram-Nikel. Pemilihan didasarkan pada jenis dan jumlah pengotor yang ingin disingkirkan, aktivitas katalis

yang diinginkan, ketersediaan bahan, dan harga. Pilihan jatuh pada Molibdenum-Nikel (NiMo). Langkah selanjutnya adalah menentukan kadar masing-masing komponen dalam katalis kemudian memilih bahan baku sumber nikel dan molibdenum. Kadar Ni-Mo sebaiknya tidak terlalu tinggi agar murah, mudah pengerjaannya, serta terdispersi baik di permukaan penyangga. Bahan baku harus memiliki kelarutan tinggi dalam air, penanganannya mudah, dan harus murah.

Setelah memilih komponen aktif kemudian memilih penyangga (support), apakah alumina, silika, titania atau silika-alumina. Penyangga harus inert dan memiliki luas permukaan yang besar (200-300 m²/g) agar komponen aktif pada jumlah yang cukup terdispersi baik. Diameter pori penyangga cukup besar (6-8 nm) agar difusi internal tidak menghambat reaksi dan volum pori yang cukup (0,5-0,6 ml/g) agar deposisi komponen aktif di permukaan penyangga dengan cara impregnasi dapat dilakukan sekali saja. Dari pustaka diperoleh informasi, bahwa gamma alumina berpeluang menjadi penyangga yang sesuai. Persoalan selanjutnya adalah merekayasa pembuatan alumina sehingga memiliki sifat fisik yang memenuhi persyaratan, yakni luas permukaan 200-300 m²/g, diameter pori 6-8 nm dan volum pori 0,5-0,6 ml/g, berkekuatan remuk yang cukup, dan berukuran 1-2 mm.

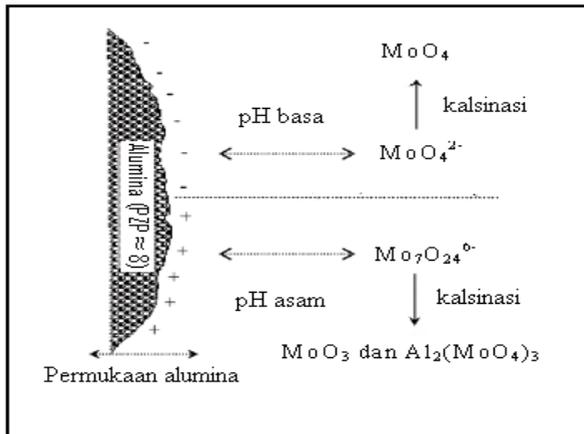
Sintesis Katalis

Sintesis katalis dilakukan dengan cara impregnasi penyangga gamma alumina berbentuk ekstrudat dengan larutan yang mengandung garam Mo dan Ni.

Dimulai dengan pembuatan penyangga gamma alumina dari berbagai bahan baku dan berbagai prosedur. Tiap penyangga yang dihasilkan dikarakterisasi untuk menentukan sifat fisik dan mekaniknya. Penelitian ditujukan untuk mendapatkan resep dan prosedur yang menghasilkan penyangga yang memiliki sifat fisik dan mekanik sesuai keinginan.

Tahap selanjutnya adalah menyiapkan larutan untuk impregnasi. Beberapa persyaratan yang perlu diperhatikan dalam membuat larutan impregnasi adalah:

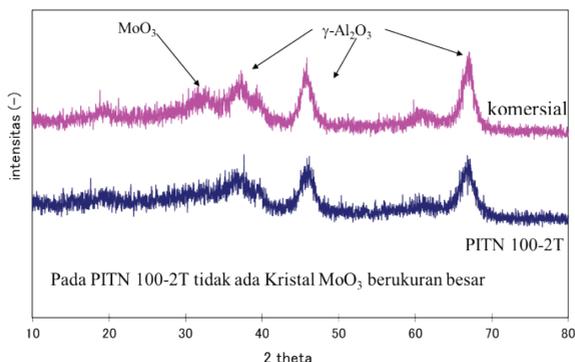
- Mengandung garam nikel dan molibdenum setinggi mungkin agar dengan sekali impregnasi diperoleh katalis dengan kadar komponen aktif yang tinggi,
- Memiliki $\text{pH} > \text{PZC}$ penyangga (point of zero charge alumina). Kontak antara alumina ($\text{PZC} = 6,8$) dengan larutan impregnasi yang bersifat basa menyebabkan permukaannya bermuatan negatif, seperti disajikan pada Gambar 12 dan mengakibatkan interaksi antara anion MoO_4^{2-} dengan Al_2O_3 menjadi lemah. Interaksi yang lemah ini akan menyebabkan transportasi Mo dalam pori penyangga menjadi cepat dan distribusi anion MoO_4^{2-} di permukaan penyanggaseragam. Distribusi Mo yang seragam menyebabkan aktivitas katalis menjadi lebih tinggi. Sebaliknya dengan larutan bersifat asam ($\text{pH} < \text{PZC}$), terjadi interaksi yang kuat antara $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$ dan Al_2O_3 yang bermuatan positif; mengakibatkan transportasi Mo menyusuri pori penyangga lambat dan terbentuk $\text{Al}(\text{OH})_6\text{Mo}_6\text{O}_{18}^{3-}$ di dekat permukaan luar penyangga. Pada proses kalsinasi, $\text{Al}(\text{OH})_6\text{Mo}_6\text{O}_{18}^{3-}$ terkonversi menjadi kristalin MoO_3 dan $\text{Al}_2(\text{MoO}_4)_3$ yang sukar diaktifasi melalui sulfidasi membentuk fasa aktif MoS_2 akibatnya aktivitaskatalis yang dihasilkan rendah.



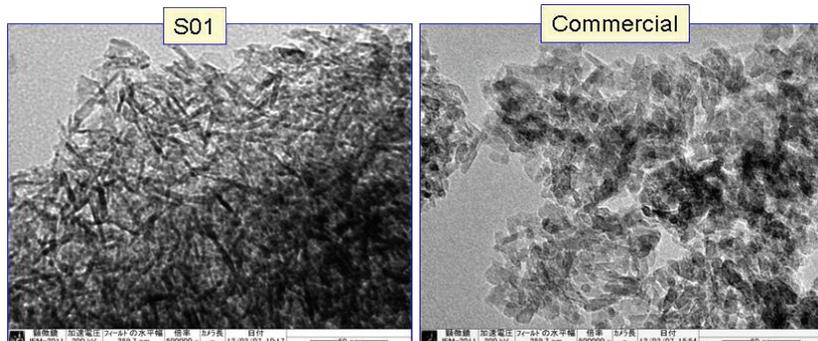
Gambar 12. Interaksi permukaan alumina dengan spesies Mo dalam larutan dengan variasi pH larutan impregnan.

Langkah terakhir dalam pembuatan katalis adalah melakukan impregnasi penyangga dengan larutan garam Ni-Mo, pengeringan, dan kalsinasi pada temperatur tertentu. Kondisi tiap tahap harus dipelajari agar diperoleh yang optimum untuk menghasilkan katalis dengan kinerja terbaik.

Katalis yang dihasilkan dianalisis menggunakan X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) untuk menentukan kadar Ni dan Mo yang berhasil dideposisikan di permukaan penyangga, dan X-ray diffractometer untuk memastikan Ni-Mo tidak membentuk kristal besar yang sukar diaktifkan, tetapi terdispersi baik di permukaan penyangga alumina. Analisis dengan TEM (transmission electron microscopy) untuk memastikan ukuran kristal Ni-Mo lebih kecil dari 30 nm.



Gambar 13. Hasil Analisis XRD Katalis PITN 100-2T dan Katalis Komersial



Gambar 14. Hasil Analisis TEM

Ukuran partikel komponen aktif pada PITN-2T (SO1) lebih kecil daripada katalis komersial. Ukuran partikel komponen aktif pada PITN-2T adalah: lebar sekitar 3 nm dan panjang 10-30 nm. Ukuran partikel komponen aktif katalis komersial adalah: lebar sekitar 6 nm dan panjang 5-20 nm. Dispersi komponen aktif PITN 100-2T (SO1) lebih baik daripada katalis komersial.

Tahap selanjutnya adalah mengevaluasi kinerja katalis dalam reaksi hidrodesulfurisasi pada reaktor berskala laboratorium menggunakan 1 gram katalis. Pada tahap perancangan katalis, studi kinetika dan mekanisme juga diperlukan untuk evaluasi hambatan difusi internal, dan identifikasi tahap paling lambat yang harus dipercepat. Menjelang tahap akhir pengujian kinerja katalis dilakukan menggunakan reaktor berskala pilot dengan umpan yang sama dengan yang digunakan dalam reaktor industri untuk memastikan katalis benar-benar berkinerja baik.

Tahap sintesis, karakterisasi, dan uji kinerja katalis dilakukan berulang seperti ditunjukkan pada Gambar 6 hingga diperoleh resep dan prosedur yang reproducible untuk pembuatan katalis berkinerja baik dan berharga murah.

Sebanyak 6,5 ton katalis PITN 100-2T kemudian digunakan di kilang Cilacap (November 2014), 30 ton di kilang Balongan (Februari 2015), dan 11 ton di kilang Balikpapan (Agustus 2017) untuk mengolah nafta umpan Platformer. Sejauh ini PITN 100-2T (PK 100 HS) dinilai bekerja dengan baik pada unit-unit tersebut.

7.1.5 Pengembangan Katalis Hydrotreating Diesel

Pengotor dalam fraksi diesel berukuran lebih besar dan kurang reaktif dibandingkan pengotor nafta. Pengembangan dilakukan dengan modifikasi PITN 100-2T dengan tujuan meningkatkan aktivitas, mempercepat difusi internal, dan tetap menekan harga serendah mungkin. Mengikuti tahap pengembangan seperti pada Gambar 6, setelah 9 bulan bekerja kami berhasil mendapatkan resep dan prosedur pembuatan katalis yang kami inginkan. Dengan menambahkan promotor tertentu yang berharga murah, kami berhasil meningkatkan aktivitas katalis tanpa menambah komponen aktif yang mahal. Selain itu, promotor yang sama dapat menaikkan diameter pori sehingga mengurangi hambatan difusi

internal. Adapun untuk lebih mempercepat difusi internal (mengurangi hambatan difusi internal) maka ukuran partikel katalis juga diperkecil menjadi 1,3 mm. Katalis yang dihasilkan kami beri nama PITD 120-1,3T (katalis Pertamina-ITB untuk Treating Diesel (PITD)) yang berkomponen aktif nikel-molibdenum, berpromotor tunggal (120), serta berbentuk Trilobe dan berukuran 1,3 mm (1,3T).

Pada 29 November 2014 sejumlah 8 ton katalis diisikan ke dalam reaktor Diesel Hydrotreating (DHT) kilang Dumai untuk mengolah bahan baku solar berupa campuran Light Cycle Gasoil (LCGO) dan Heavy Gasoil (HGO). PITD 120-1,3T masih bekerja dengan baik hingga saat ini.

7.1.6 Pengembangan Katalis Hidrodeoksigenasi Minyak Nabati

Pada akhir 2009 SK Energy (perusahaan minyak Korea Selatan) berniat mengajak Pertamina untuk bekerja sama mengembangkan proses (mencakup katalis) dan teknologi konversi minyak nabati (minyak sawit) menjadi solar atau avtur. Keinginan tersebut dibatalkan karena pada 2011 Pertamina bersama Lab. TRK telah berhasil mengembangkan sendiri katalis generasi pertama untuk hidrodeoksigenasi minyak nabati. Pada 2015, katalis generasi kedua dengan kinerja yang lebih baik telah pula dikembangkan. Katalis tersebut diberi nama PIDO 130-1,3T (katalis Pertamina- ITB untuk DeOksigenasi) yang berbasis nikel-molibdenum, berpromotor tunggal, berbentuk Trilobe, dan berukuran 1,3 mm.



Gambar 15. Uji Coba Green Diesel

PIDO 130-1,3T adalah katalis untuk mengkonversi minyak nabati menghasilkan hidrokarbon parafinik. Jika sebagai minyak nabati umpan digunakan minyak sawit, maka produknya dikenal sebagai diesel hijau dengan bilangan setana yang tinggi sekitar 80. Jika digunakan minyak inti sawit atau minyak kelapa sebagai umpan, maka produknya adalah kerosin parafinik yang merupakan bahan baku bio-avtur.

7.1.7 Kerjasama dengan Clariant Kujang Katalis

Secara keseluruhan jumlah katalis hydrotreating yang telah diproduksi dan digunakan Pertamina hingga tahun 2017 adalah 130 ton. Jumlah sebanyak itu tentu tidak dapat diproduksi di pabrik mini yang kami bangun bersama R&D Pertamina. Oleh karena itu, R&D Pertamina menjalin kerja sama dengan pabrik katalis yang ada di Cikampek, yaitu PT. Clariant Kujang Catalyst, untuk memproduksi katalis hasil pengembangan bersama Pertamina-ITB. Di-harapkan dalam 3 tahun mendatang pabrik katalis merah putih pertama dapat dibangun di Indonesia. Saat ini Pertamina bekerja sama dengan ITB tengah melakukan studi kelayakan pembangunan pabrik ini.

7.1.8 Pengembangan Katalis Hidrogenasi Ester-lemak Menjadi Alkohol-Lemak

Pada reuni alumni TK angkatan 81 pada tahun 2010, peserta berbincang-bincang ingin melakukan sesuatu untuk Teknik Kimia-ITB (almamaternya). Ide yang muncul adalah membantu mantan wali akademiknya (saya) untuk mengembangkan katalis. Kemudian Dr. Erwin Sutanto menindaklanjuti ide tersebut yang kala itu menjabat sebagai direktur PT. Ecogreen Oleochemical. Pada akhir 2011 kerja sama mulai dijalin dengan tujuan utama mengembangkan katalis hidrogenasi ester lemak menjadi alkohol lemak. Kami sudah berhasil mengembangkan berbagai katalis untuk PT. Ecogreen dengan kinerja yang baik dan karenanya sangat berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut ke skala komersial. Katalis tersebut juga diminati oleh PT Clariant Kujang Katalis untuk dipasarkan ke luar negeri dan saat ini sedang diuji di Jepang.

7.1.9 Pengembangan Proses dan Katalis Fischer Tropsch

Sejak 2006, kami juga mengembangkan katalis untuk proses Fischer Tropsch, yaitu proses yang mengkonversi gas sintesis, campuran CO dan H₂, menjadi BBM. Saya menaksir, proses ini sangat penting untuk segera dikembangkan karena Indonesia masih cukup kaya dengan gas bumi, batubara, dan terlebih-lebih biomassa yang dapat dikonversi menjadi gas sintesis. Namun, kemajuan penelitian kami di sini terasa sangat lambat karena reaksi ini harus

dilaksanakan pada tekanan agak tinggi, sekitar 20 atm. Diperlukan biaya yang besar untuk membangun atau membeli unit reaktor bertekanan tinggi. Pada 2012, alumni TK angkatan 77 yang memang banyak memperhatikan almamaternya menawarkan bantuan dana penelitian. Pucuk dicinta ulam tiba, tentu saja tawaran tersebut kami terima dengan sangat senang hati. Pada saat ini kami telah mendapatkan katalis dengan kinerja yang baik berupa katalis berbasis logam besi dengan berbagai promoter, yaitu Zn-Cu-K dan katalis berbasis Co, yaitu Co-Mn-K/Al₂O₃.

7.1.10 Pengembangan Katalis Lainnya

Saat ini bersama Pertamina dan industri lainnya kami sedang melakukan penelitian dan pengembangan katalis untuk proses-proses:

- Perengkahan katalitik, untuk memenuhi kebutuhan Pertamina yang mencapai 30 ton/hari. Saat ini telah berhasil dikembangkan zeolit Y hirarki yang dapat meningkatkan aktivitas katalis.
- Isomerisasi parafin panjang, yang sangat diperlukan untuk produksi bio avtur dari minyak nabati. Penelitian ini merupakan yang pertama kali kami menggunakan katalis berbasis logam platina yang sangat mahal dan merupakan pembelajaran penting karena banyak katalis industrial berbasis Pt. Penyangga yang digunakan, yaitu ZSM 48 juga telah berhasil disintesis.
- *Hydrotreating* residu, untuk memenuhi kebutuhan Pertamina yang mencapai 450 ton/tahun. Meskipun penelitian ini merupakan kelanjutan dari pengembangan katalis *hydrotreating*, namun tidak mudah untuk segera diselesaikan. Molekul pengotor residu jauh lebih kompleks daripada pengotor dalam diesel. Rekayasa struktur penyangga merupakan persoalan utama yang harus dipecahkan terlebih dahulu.
- Perengkahan katalitik minyak sawit menjadi bensin hijau (*green gasoline*) berangka oktantinggi. Formula katalis yang berkinerja baik telah berhasil diperoleh. Bersama Dr. Rino Mukti dari prodi Kimia FMIPA ITB telah berhasil dikembangkan dan dipatenkan cara mudah dan sederhana untuk sintesis ZSM-5 yang merupakan komponen utama katalis proses ini.

7.2 Mata Kuliah Katalis dan Katalisis

Upaya mengembangkan katalis di Indonesia tidak hanya saya tempuh melalui penelitian saja. Pada 1996, saya membuka mata kuliah pilihan Katalis dan Katalisis yang saya tuju untuk diseminasi pengetahuan tentang katalisis. Sekarang mata kuliah ini telah berevolusi dengan tersedianya pabrik katalis pendidikan yang dibangun dengan memanfaatkan program penguatan inovasi Kementerian Ristekdikti RI. Saya berharap dengan mengenal lebih baik tentang katalis akan makin banyak generasi muda yang berminat menekuni bidang katalisis dan suatu saat akan terlibat aktif dalam pengembangan katalis untuk Indonesia. Sejak 5 tahun yang lalu atas saran Ir. Lisminto, alumni TK 77 yang dikenal sebagai provokator militan, dalam setiap kuliah saya sampaikan cerita sukses laboratorium kami dalam pengembangan katalis. Adapun maksud dan tujuannya agar para peserta kuliah sejak dini memelihara dan membesarkan garuda di dadanya.

7.3 Masyarakat Katalisis Indonesia

Pada awal 2003, saya dan beberapa teman yang sama-sama menyadari pentingnya Indonesia mandiri dalam bidang teknologi proses, berniat untuk mendirikan sebuah asosiasi kepakaran. Melalui proses yang panjang dan diskusi intensif, akhirnya Masyarakat Katalisis Indonesia (MKI) dideklarasikan pada tahun 2004 saat Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo di ITB. MKI dibangun sebagai tempat berhimpunnya pakar-pakar dalam bidang teknik reaksi kimia dan katalisis untuk berkonsolidasi, berdiskusi, melempar ide, dan mendorong mimpi untuk mengembangkan teknologi katalisis di Indonesia. MKI diharapkan dapat mengakselerasi pengembangan penelitian dalam bidang katalis dan teknik reaksi kimia sekaligus dapat menjadi jembatan antara Perguruan Tinggi atau Lembaga Penelitian dengan pihak industri sehingga terjadi penguatan dalam proses inovasi dan hilirisasi hasil-hasil penelitian dalam bidang katalis dan teknik reaksi kimia.

7.4 Penguatan Inovasi, Pengembangan, dan Produksi Katalis Merah Putih

Pada 2017, Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis ITB mendapatkan dana pengembangan dari Kementerian Riset dan Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI untuk menjalankan sebuah program “Penguatan Inovasi, Pengembangan dan Produksi Katalis Merah Putih”. Program ini bertujuan untuk mempercepat inovasi, pengembangan, dan produksi katalis melalui pembangunan pabrik katalis pendidikan berskala mini. Pabrik ini bukan hanya dirancang untuk keperluan inovasi, tetapi sekaligus sebagai media pendidikan (*teaching industry*). Pabrik katalis pendidikan ini dilengkapi dengan alat produksi katalis berkapasitas 1-5 kg/batch dan sistem reaksi berskala pilot untuk uji kinerja katalis serta instrumentasi analisis sifat fisiko-kimia katalis.

Melalui pabrik pendidikan ini, inovasi pengajaran dan pendidikan dalam bidang teknik reaksi kimia telah diselenggarakan pada perkuliahan dalam bidang teknik reaksi kimia dan katalisis. Mahasiswa dilibatkan dalam pengembangan katalis skala pilot dengan menggunakan fasilitas *teaching industry*.

Program ini diharapkan dapat berlanjut ke tahun kedua yang difokuskan pada pengembangan beberapa katalis yang telah dikembangkan dalam skala laboratorium di Lab Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis, seperti katalis hydrotreating, katalis produksi diesel hijau, dan hidrogenasi ethyl- hexenal.

7.5 Pusat Rekayasa Reaksi Kimia dan Katalisis

Kami di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis sudah lama berkeinginan untuk menegakkan satu Pusat Rekayasa Reaksi Kimia dan Katalisis. Suatu wadah untuk melaksanakan kegiatan penelitian dasar hingga terapan untuk pengembangan katalis dan teknologi proses. Pusat Rekayasa ini dapat menjadi episentrum bagi pengembangan aspek-aspek komersialisasi dan kerekeyasaan serta *knowledge management* teknik reaksi kimia dan katalisis. Kami yakin bahwa dengan Pusat Rekayasa Reaksi Kimia dan Kata-

lisis ini maka kerja sama yang mendukung perkembangan teknologi reaksi kimia dan katalisis yang telah dicapai saat ini akan jauh lebih baik sehingga pada gilirannya nanti teknologi proses merah-putih akan menjadi tuan rumah di negeri ini. Saya berharap kali ini ITB berkenan membantu kami untuk mewujudkan cita-cita tersebut.

8. PENUTUP

Akhirnya saya ingin menggarisbawahi beberapa hasil kerjasama kami dengan industri. Hasil utamanya tentu katalis yang berunjuk kerja baik sehingga dapat digunakan di industri. Hasil yang lain di antaranya adalah para Sarjana, Magister, dan Doktor Teknik Kimia; beberapa publikasi ilmiah; beberapa paten yang menghasilkan royalti bagi ITB; dan beberapa peralatan yang dibeli dari kerja sama dengan industri dan Kemenristekdikti.

Produk yang jauh lebih penting dari semua proses ini adalah timbulnya kepercayaan pihak industri pada kemampuan kami dan Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis ITB, baik dalam konsultasi evaluasi dan seleksi katalis maupun pengembangan katalis. Saya berharap kepercayaan semacam ini dapat dipertahankan dan berimbas secara luas pada sivitas akademika perguruan tinggi dan anak bangsa yang lain.

Hasil yang telah dicapai oleh Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis ITB sebenarnya merupakan buah kerja panjang yang didukung oleh militansi pihak-pihak terkait. Wacana kerjasama A-B-G yang telah lama didengungkan menjadi kenyataan. Kami sangat gembira bahwa dalam kasus pengembangan katalis ini, kami dapat membawa ITB kembali mengambil perannya sebagai pandu. Suara ITB kembali didengar dan kini komunitas luas menuntut ITB untuk berperan besar memandu perjalanan industri Katalis Nasional menuju kemandirian. Semoga riak-riak kecil keberhasilan ini dapat membesar dan memicu terjadinya gelombang besar keberhasilan dalam bidang teknologi proses di negeri ini dan dapat diadopsi oleh bidang-bidang lain untuk menghasilkan perubahan yang sama atau bahkan lebih besar.

9. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang berbahagia ini, izinkan saya untuk menyampaikan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah memberikan dukungan tak ternilai kepada saya

- 1) Istri dan anak-anakku yang tercinta;
- 2) Prof. Saswinadi Sasmojo, guru dan wali akademik yang mengajak saya bergabung menjadi dosen di Jurusan Kimia Teknik ITB pada 1975;
- 3) Dr. Ir. Tatang Hernas Soerawidjaja, rekan yang selama ini memberikan sumbangan pemikiran hebat nan luar biasa bagi pengembangan teknologi katalis nasional;
- 4) Prof. Soehadi Reksowardojo (alm), Prof Sudarno Harjosoeparto (alm), Dr. Ir. Soepardi Ghazali (alm), dan Ir. Kamiso Purba, M.Sc. (alm), guru dan rekan yang telah bekerja keras dalam meletakkan dasar-dasar pengembangan teknologi katalis di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis, hingga akhir hayatnya;
- 5) Dr. Ir. Melia Laniwati Gunawan, Dr. Ir. IGBN Makertihartha, Dr. Ir. Yogi W. Budi, Dr. Ir. C. B. Rasrendra, dan rekan-rekan Lab TRKK, yang saat ini bersama-sama membangun mengembangkan teknologi katalis nasional;
- 6) Profesor I. Gede Wenten, yang telah mendorong kuat dan membatu proses pengajuan hingga keluarnya SK Guru Besar;
- 7) Rekan-rekan di Program Studi Teknik Kimia FTI ITB yang telah bersama-sama mendorong pengembangan teknologi proses tanah air;
- 8) Ir. Kadar Suradimadja, PT. Pupuk Iskandar Muda, yang telah memberikan inspirasi dan meletakkan tonggak utama kerja sama Perguruan Tinggi-Industri dalam pengembangan teknologi katalis nasional;
- 9) Ir. Suroso Atmomartojo, PT. Pertamina, yang telah membuka pintu pertama bagi kerja sama intensif pengembangan teknologi katalis bagi industri pengolahan minyak;

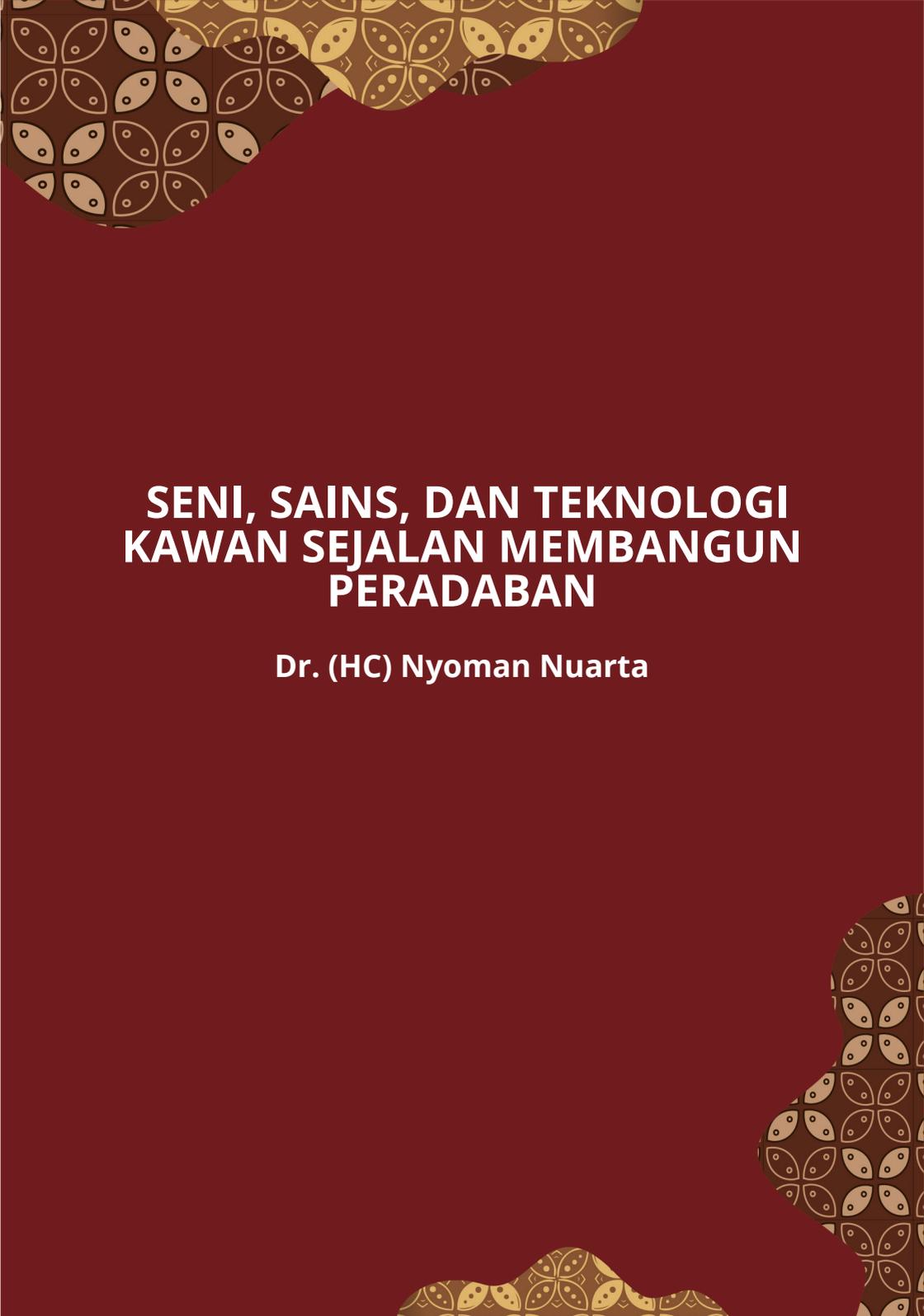
- 10) Rekan-rekan dari PT Pupuk Iskandar Muda, R&D PT Pertamina Persero, PT Ecogreen Oleochemical, dan PT Clariant Kujang Catalyst, yang selama ini bahu membahu dalam mengaplikasikan hasil penelitian di industri;
- 11) Ir. Lisminto, Ir. Bambang Sedewo, Ir. Triharjo Soesilo, Ir. Elvianto Riendra, dan Dr. Erwin Sutanto, yang telah mengawal dan mendukung secara militan segala usaha kami;
- 12) Teknisi, mahasiswa, dan alumni Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis yang sangat saya cintai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Richardson, J.T. (1989). *Principles of catalyst development*. Plenum Press.
2. Bravo-Suarez, J. J., Kidder, M. K., & Schwartz, V. (2013). Novel materials for catalysis and fuels processing. *ACS Symposium Series*. American Chemical Society.
3. Purba, K. (2003). *Adsorben berbasis besi (III) oksida untuk penyingkiran hidrogen sulfida dari gas bumi* (Disertasi Doktor, Intitut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia).
4. Ulfah, M. (2011). *Hydrotreating nafta dengan katalis NiMo bepenyangga γ -alumina* (Disertasi Doktor, Intitut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia).
5. Gunawan, M. L., Subagjo, Makertiharta, I. G. B. N., & Al Fatoni, Z. (2015). *Hidrogenasi ester lemak menjadi alkohol lemak menggunakan katalis berbasis tembaga (Cu) pada reaktor batch*. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia (SNTKI). Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia V: Sustainable Energy and Mineral Processing for National Competitiveness*. Yogyakarta, 12–13 Oktober 2015.
6. Subagjo. (2016). *Catalysts for liquid biofuel production*. Dalam *International Seminar on Chemical Engineering E36 in conjunction with Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo (STKSR)*.
7. Subagjo, dkk., "Proses pembuatan penyangga katalis pengolahan hidro untuk umpan minyak fosil, minyak nabati, dan campurannya," Paten Indonesia.
8. Kadja, G. T. M., Mukti, R. R., Subagjo, Makertiharta, I. G. B. N., Gunawan, M. L., Budiyanto. "Metode sintesis zeolit ZSM-5 berpori hierarkis bebas agen pencetak pada suhu rendah," Paten Indonesia No. IDP000062827, tanggal 25 September 2019.
9. Makertiharta, I. G. B. N., Subagjo, Gunawan, M. L., & Stefanus, A. (2015). *Desain dan simulasi reaktor FCC untuk produksi bahan bakar hijau: Simulasi CFD dan perancangan reaktor FCC*.

Dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia (SNT-KI)*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia V: *Sustainable Energy and Mineral Processing for National Competitiveness*. Yogyakarta, 12–13 Oktober 2015.

10. Soerawidjaja, T. H. (2004). *Menggagas arah-arrah penelitian teknik kimia dan katalisis di Indonesia*.



SENI, SAINS, DAN TEKNOLOGI KAWAN SEJALAN MEMBANGUN PERADABAN

Dr. (HC) Nyoman Nuarta

Pidato Ilmiah Penerimaan Habibie Prize Tahun 2021 Bidang Filsafat, Agama, dan Kebudayaan

SENI, SAINS, DAN TEKNOLOGI KAWAN SEJALAN MEMBANGUN PERADABAN

Dr. (HC) Nyoman Nuarta

Assalammu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh
Om Swasti Astu
Salam sejahtera
Syalom
Namo Buddha
dan Salam kebajikan

Semoga atas berkat rahmat Tuhan Yang Maha Esa, kita semua dalam keadaan sehat walafiat, dipenuhi rasa syukur yang tak berkesudahan, serta berkelimpahan kesejahteraan dan kedamaian. Hanya karena berkat Tuhanlah kita mampu melewati situasi krisis multidimensi yang disebabkan oleh pandemi Covid-19. Semoga pula perlahan-lahan kita segera memasuki kondisi normal baru, sehingga seluruh aktivitas dan kreativitas dalam menjalani hidup sehari-hari bagi seluruh rakyat Indonesia, kembali bisa menggeliat.

Yang saya muliakan Presiden Republik Indonesia Bapak Joko Widodo, Menteri Pendidikan dan Kebudayaan, Riset dan Teknologi, Bapak Nadiem Makarim,

Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Bapak Laksana Tri Handoko yang saya hormati,

Ketua Pengurus Yayasan SDM IPTEK, Bapak Profesor Doktor (Ing) Wardiman Djoyonegoro, yang juga saya hormati,

Ketua Dewan Pembina Habibie Center, Bapak Doktor (Ing) Ilham Akbar Habibie, yang terhormat,

Yang saya hormati dan saya banggakan, para Anggota Dewan Juri Habibie Prize Tahun 2021, yang telah bekerja keras di tengah

situasi pandemi, yang telah mengobrak-abrik seluruh tatanan kehidupan dunia. Atas kerja keras Bapak dan Ibu semuanya, acara pemberian anugerah ini bisa terselenggara.

Secara pribadi dari lubuk hati paling dalam, saya mengucapkan beribu-ribu terima kasih atas pemberian penghargaan Habibie Prize Tahun 2021. Saya merasa sungguh-sungguh mendapatkan kehormatan bisa menjadi bagian dari upaya-upaya pengembangan serta penghargaan terhadap pencapaian keilmuan di Tanah Air kita. Apa yang saya telah kerjakan, kembangkan, dan kemudian capai hasilnya, tak lepas dari peran serta banyak pihak.

Saya ingin menyampaikan terima kasih kepada para pekerja seni, yang selama ini telah menunjukkan dedikasi serta kerja tim yang tangguh, sehingga kita bersama bisa menunjukkan kepada dunia sebuah hasil kerja yang bisa dibanggakan. Tak lupa, pencapaian hasil itu semua berkat kelimpahan kasih dari istri saya tercinta Cynthia Laksmi Nuarta, serta cinta dari anak-anak, para cucu, dan menantu. Dari lubuk hati terdalam saya memeluk mereka satu per satu, karena telah memberikan energi kreativitas yang tak habis-habisnya saya reguk sampai hari ini.

Bapak dan Ibu yang saya cintai, kalau kita menoleh ke belakang kehadiran seni tidak pernah *an sich*. Pada tataran praktisnya seni selalu didampingi oleh sains dan teknologi. Sedangkan pada tataran nilai, seni selalu berkelindan dengan filsafat, agama, serta tentu saja pada akhirnya membangun peradaban dan kebudayaan. Bahkan, pada lingkaran yang lebih jauh lagi, seni tak bisa dibebaskan dari peran serta ekonomi, terutama dalam mendukung pengembangan industri pariwisata.

Karya-karya patung monumental yang saya kerjakan selama ini, sejak awal telah menerapkan perpaduan antara seni, sains, dan teknologi, serta studi kelayakan secara ekonomi, agar karya-karya itu memberi dampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi *in site*. Selain itu, karya-karya yang dihadirkan selalu didahului oleh riset-riset di bidang kebudayaan, untuk menemukan inti filosofi atau ajaran-ajaran lokal, yang memiliki nilai-nilai humanisme universal. Hal itu penting dilakukan agar kehadiran sebuah karya, dalam hal ini patung, selalu membumi, selalu selaras dengan

lingkungan kebudayaan sekitar, yang akan menjadi pendukung utamanya.

Prinsip itu misalnya telah kami terapkan pada pembangunan Garuda Wisnu Kencana Cultural Park di Bukit Ungasan, Jimbaran, Bali. Sejak digagas pada tahun 1989, bersama dengan Menteri Pariwisata Pos dan Telekomunikasi Bapak Joop Ave, Menteri Pertambangan dan Energi Bapak IB Sudjana, dan Gubernur Bali Bapak Ida Bagus Oka, GWK ingin memberi sumbangan positif pada perkembangan industri pariwisata Bali dan Indonesia. Oleh sebab itu, gagasan awal yang ingin membangun patung setinggi 5 meter di area Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai, berkembang menjadi patung setinggi 121 meter di Bukit Ungasan.

Sebagai pematung, saya menantang diri sendiri untuk mewujudkan imajinasi tentang garuda, seekor burung besar yang pernah muncul dalam kehidupan saya di masa kecil. Pemilihan Garuda Wisnu bukanlah sebuah kebetulan belaka. Pada masyarakat Indonesia, terutama Bali, dan bahkan di kawasan Asia Tenggara, garuda sejak lama telah lahir menjadi simbol kekuatan, kesetiaan, dan kebijaksanaan. Dalam kisah-kisah mitologi yang kami gali, Garuda Wisnu menurunkan ajaran tentang keteguhan dalam menjaga keseimbangan alam semesta. Ajaran, filosofi, dan kepercayaan lokal ini, perlu digali dan kemudian diwujudkan dalam satu ikon simbolik yang menggaungkan keselarasan hidup.

FONDASI SISTEM RAKIT

Sebagai patung monumental yang memiliki dimensi besar, GWK harus menerapkan prinsip-prinsip efisiensi yang melibatkan peran serta teknologi. Sejak perancangan fondasi, pembesaran, serta daya tahan terhadap angin dan gempa, GWK selalu menggunakan parameter teknologi untuk mencapai hasil yang benar-benar optimal. Karakter lahan di Bukit Ungasan, termasuk tanah *porous*, yang dalam jangka panjang berpotensi membuat aliran dan endapan air dalam area fondasi. Oleh sebab itu tim ahli kami kemudian memutuskan penggunaan sistem *raft foundation* atau fondasi rakit.

Sistem fondasi ini berupa pelat beton berbentuk lebar di seluruh bagian dasar bangunan, sehingga jika terjadi endapan air yang lama dan membuat rongga lahan kapur, fondasi akan tetap mengambang. Hal itu terjadi karena pembagian beban yang merata pada seluruh dasar fondasi. Dengan prinsip ini, terbukti bahwa GWK mampu berdiri dengan megah di sebuah perbukitan kapur, yang sebelumnya hanya ditambang sebagai galian C oleh warga sekitarnya.

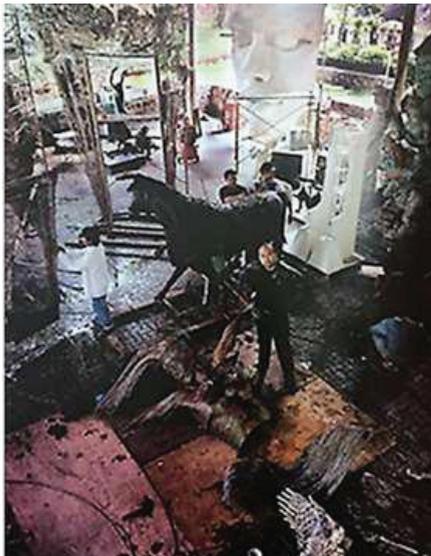


Gambar 1. Struktur Utama Patung dan Pedestal GWK.

Struktur tubuh patung GWK sesungguhnya dibangun oleh modul-modul yang terdiri dari 754 keping. Masing-masing keping dalam bentuk tidak beraturan karena mengikuti pola wujud patung Garuda Wisnu, terdiri dari rangka baja dan kulit tembaga, yang dirakit dengan menggunakan teknik *welding* (pengelasan) dari kuningan. Kami menyebut teknik pembentukan wujud dalam modul-modul itu sebagai *wire mesh welding and forming* atau las logam pada kawat tembaga. Teknik ini bisa menghasilkan kualitas fisik dan estetis karya yang setara dengan kualitas teknik pengecoran logam. Bahkan ia memiliki keunggulan, karena patung bisa dibuat menjadi lebih tipis, sehingga relatif lebih ringan dibanding patung cor logam.

Meski begitu, karena disusun dari logam dalam besaran tertentu, satu modul GWK bisa mencapai berat sampai dengan 3 ton. Prinsip kerja ini dipadukan dengan prinsip kerja pembesaran berdasarkan skala modul yang telah kami patenkan. Rumus dasar dari kerja ini adalah jika sebuah bentuk bebas diiris horisontal atau vertikal dengan jarak yang tetap, kemudian garis-garis luar (*outline*) tersebut diperbesar berdasarkan skala, dan kemudian disusun kembali sesuai dengan koordinat yang tetap, maka akan terbentuk pembesaran menyeluruh dengan skala yang dikehendaki. Teknik pembuatan patung ini telah diuji dan menghasilkan tingkat efisiensinya sebesar 45% dibandingkan teknik konvensional.

Teknik pembesaran berdasarkan modul ini telah kami terapkan pada pembangunan patung Jalesveva Jayamahe (1996) di Dermaga Ujung, Surabaya. Pengalaman itu memberi kami pelajaran, bahwa dengan prinsip pembesaran semacam ini, sebesar apa pun sebuah patung bisa dibangun tanpa khawatir terdistorsi. Bentuknya akan sama persis dengan model yang telah dirancang sebelumnya. Karena kami menganggap ini sebuah penemuan, maka teknik pembesaran patung berdasarkan skala itu telah kami daftarkan agar memiliki hak paten sejak tahun 1993.



Berdasarkan pertimbangan besarnya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan GWK, maka diputuskan bahwa strukturnya harus mampu bertahan selama kurang lebih 100 tahun. Untuk itu, fondasi dan struktur pedestal dan patung dipersiapkan agar mampu menahan kekuatan gempa bumi hingga magnitudo 7,5 Skala Richter (SR) tanpa mengalami deformasi bentuk. Ketangguhan konstruksi GWK pun langsung mendapatkan ujian. Setelah diresmikan Presiden Joko Widodo pada 22 September 2018, Bali diguncang gempa bermagnitudo 5,8 SR tanggal 16 Juli 2019 dan tanggal 14 November 2019 kembali diguncang gempa 5,1 SR, tetapi sejauh ini struktur GWK tidak mengalami keretakan atau deformasi pada bentuknya.

Sebelum GWK benar-benar berdiri, kami telah melakukan uji *wind tunnel* daya tahan keseluruhan struktur GWK, terutama terhadap kecepatan angin. Kami melakukannya di Windtech Consultant, Sydney, Australia tahun 2007 dan kemudian di Rowan William Davies & Irwin di Toronto, Kanada, tahun 2013. Hasil uji itu menunjukkan bahwa GWK mampu menahan kecepatan angin sampai mencapai 250 knot (463 km/jam). Sedangkan di Bali kecepatan angin tertinggi hanya mencapai 70 knot (129/64 km/jam). Dengan demikian, maka aspek struktur statik dan dinamik patung GWK memiliki tingkat *safety factor* yang tinggi. Dari hasil uji tersebut, desain konstruksi dan material baja yang dipergunakan ditambah dengan struktur baja di bagian inti patung agar patung lebih dinamis saat diterpa angin yang keras.

Bapak, Ibu, serta saudara-saudara yang saya hormati, uraian tadi setidaknya telah cukup memberi gambaran betapa kerja kesenian tidak bisa dipisahkan dengan kerja teknologi. Pembuatan patung sebesar GWK, tidak boleh hanya dilihat dari sisi estetika semata-mata, tetapi harus secara utuh, bahwa di dalamnya terdapat peran berbagai cabang ilmu. Sudah pasti, penggunaan simbol Garuda Wisnu mengandung makna penghormatan dan penghargaan yang tinggi terhadap kebudayaan lokal. Sekaligus juga memperlihatkan kepada dunia bahwa Garuda Wisnu adalah ikon filosofis yang dibangun dengan menerapkan teknologi modern.

TONGGAK KEBANGKITAN MORALITAS

Pada sisi lain kami beranggapan, bahwa keberadaan GWK telah menjadi tonggak bagi “kebangkitan” moralitas Bali untuk menjadi bagian dari nilai-nilai modernitas. Selama ini Bali cuma diposisikan sebagai destinasi eksotis, yang bisa direguk oleh para wisatawan dari berbagai belahan dunia. Kecenderungan itu hanya meletakkan Bali sebagai obyek belaka, seolah-olah Bali hanya menerima apa pun yang diberikan kepadanya. Setidaknya ketika GWK berdiri, nilai-nilai modernitas itu direproduksi, menjadi sesuatu yang lebih nyata di mana Bali turut berperan dalam menentukan arah pertumbuhannya sendiri.

Hal lain yang penting pula untuk disampaikan, bahwa selama ini kita bangga memiliki Borobudur, Prambanan, Pura Besakih, dan tempat-tempat suci lain yang telah diwariskan oleh para leluhur bangsa. Pertanyaannya, kapan kita sebagai manusia yang hidup di masa kini bisa mewariskan sesuatu yang monumental? GWK memang bukan tempat suci, tetapi ia dirancang dengan merunut jalan kearifan lokal, agar menjadi penanda dari nilai-nilai baru yang bisa diwarisi oleh generasi nanti. Semangat itulah yang (mungkin) membimbing kami untuk terus berusaha, bekerja keras dengan penuh dedikasi, agar GWK selesai pada waktunya. Dengan berbagai drama di dalamnya, GWK akhirnya selesai dibangun dalam waktu 28 tahun! Sebuah waktu yang panjang, tetapi mungkin itulah jalan yang harus ditempuh untuk mewujudkan impian yang besar.

ISTANA GARUDA

Prinsip kerja lintas bidang dan pelibatan para ahli dalam karya-karya monumental itu kami teruskan dalam berbagai karya, termasuk membuat *basic design* Istana Garuda di Ibu Kota Negara (IKN) baru di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Bahkan pada konteks Istana Garuda, kami berangkat dari prinsip-prinsip arsitektur untuk membangun sebuah istana berwujud burung Garuda. Kami menyebutnya sebagai karya *archsculpt*, perpaduan antara ilmu arsitektur dengan ilmu patung.

Secara prinsip keberangkatan GWK dan Istana Garuda berbeda titik pandang. Jika GWK berangkat dari patung yang kemudian mewadahi fungsi-fungsi praktis, Istana Garuda dimulai dengan kebutuhan akan ruang yang mampu menampung fungsi-fungsi pemerintahan dengan tidak meninggalkan sisi-sisi artistik dan simbolik. Meski sama-sama menggunakan garuda sebagai ikon utamanya, GWK benar-benar diinterpretasi dari bentuk artistik garuda yang selama ini telah dilakukan oleh para seniman pendahulu. Meski begitu, GWK tetap memiliki ciri estetik yang khas mengingat keberadaannya telah dikontekstualisasi dengan pencapaian kebudayaan terkini. Sementara itu, garuda pada Istana Garuda, mengambil bentuk (lebih) kontemporer sesuai dengan kebutuhan ruang. Oleh sebab itu bentuk garuda pada Istana Garuda lebih menyerupai abstraksi dari sebuah lambang persatuan dalam pluralitas kebudayaan negara Indonesia.

Bapak, Ibu, dan Saudara-saudara yang saya hormati, Istana Garuda akan lahir menjadi bahasa kontemporer bagi peneguhan terhadap persatuan dan kesatuan bangsa. Di dalamnya, seluruh rakyat Indonesia berteduh bersama-sama dalam derajat yang setara. Seluruh suku, agama, ras, bahasa, adat istiadat, dan tradisi yang menghampar di gugusan tanah Indonesia, punya hak yang sama untuk hidup berdampingan secara sederajat. Tidak ada kebudayaan satu lebih rendah dari kebudayaan lainnya, karena kebudayaan mencerminkan ekspresi alam pikiran komunal dari satu entitas kultural. Kehadiran Istana Garuda yang kami desain di Pulau Kalimantan nanti, memberi ruang yang makin terbuka terhadap identitas keindonesiaan.

Ikon atau *tetenger* kawasan seperti GWK dan juga Istana Garuda, harus diberi sentuhan lain berupa fasilitas pendukung seperti taman botani serta danau-danau yang menampung air hujan, yang kemudian difungsikan sebagai penyiram tanaman. Intinya, Istana Garuda menjadi salah satu gedung yang terdapat dalam kebun raya, yang akan diisi dengan Rumah Dinas Presiden, Wisma Negara, dan Masjid Agung, serta beberapa bangunan pendukung.

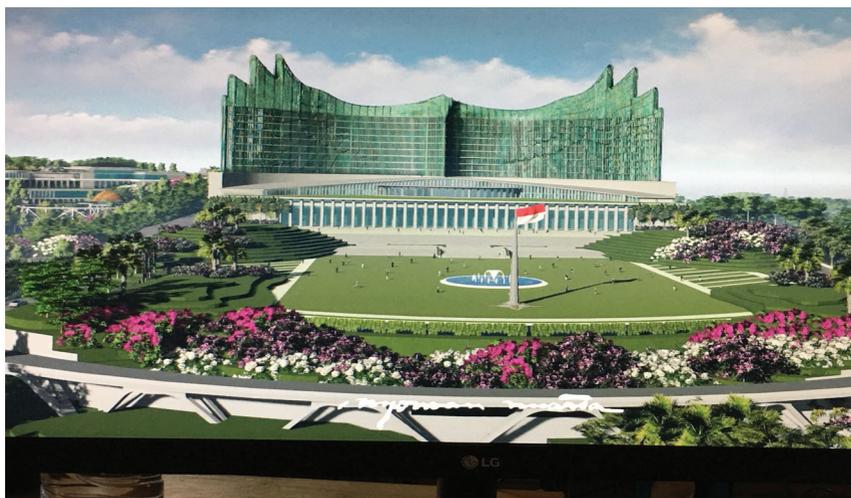
Hal penting lain yang ingin saya katakan tentang Istana Garuda adalah, penerapan prinsip *green building* di dalamnya. Pada sisi luar, bangunan Istana akan dibentuk oleh bilah-bilah tembaga, yang tidak hanya berfungsi sebagai kulit Garuda, tetapi lebih-lebih adalah peredam cahaya matahari. Bilah-bilah tembaga ini nantinya akan berfungsi sebagai penghalang paparan sinar matahari agar tidak langsung menerpa dinding kaca. Dengan demikian kemungkinan terjadinya efek rumah kaca, bisa segera dihindari. Lebih jauh itu, dengan sendirinya akan terjadi penghematan terhadap penggunaan energi listrik dari *air conditioner* di dalam ruangan.

Selain itu, penggunaan logam tembaga sebagai kulit terluar Istana Garuda, terutama pada bagian atap gedung, juga berfungsi sebagai Sangkar Faraday, yang akan menjadi penangkap aliran listrik yang dihasilkan oleh petir. Sangkar Faraday akan menghindari terbentuknya listrik statis, karena aliran listrik dari petir akan dihubungkan langsung lewat arde ke dalam tanah dengan bejana logam besar. Sistem ini sudah terbukti aman dan efektif dalam menyalurkan aliran listrik dari petir, yang bisa saja setiap waktu terjadi. Sebagaimana kita ketahui listrik statis sering kali bisa menyulut kebakaran.

Mengingat kontur tanah di kawasan Istana, berupa lapisan *clayshale* (tanah liat) dengan tonjolan-tonjolan perbukitan yang ekstrem serta lembah-lembah yang cukup dalam, maka tidak akan dilakukan intervensi *cut and fill* secara berlebihan. Teknik penguangan atau pengurukan lahan ini, telah terbukti kurang berhasil di lokasi serupa, di mana tanah-tanah menjadi mudah ambles. Oleh sebab itu, beberapa jembatan layang akan dibangun sebagai penghubung antar kawasan yang berjauhan.

Harus kami akui dalam kesempatan ini, kemenangan kami dalam kompetisi terbatas yang diadakan Kementerian PUPR, pada bulan Maret 2020 telah memicu polemik media massa dan media sosial, yang intinya kurang sepakat dengan pemilihan burung Garuda sebagai wujud dari istana. Tetapi dengan penjelasan yang cukup komprehensif terhadap sisi-sisi kelebihan *basic design* Istana Garuda, sebagaimana telah kami lakukan, semua pihak akhirnya menghentikan polemik.

Sebagai pekerja seni, saya pribadi merasa selalu siap menerima kritik dan masukan terhadap karya-karya yang telah diluncurkan ke publik. Polemik menjadi sesuatu yang wajar terjadi terhadap karya-karya yang memang sejak awal diniatkan untuk menjangkau publik luas. Kami selalu menanggapinya sebagai dinamika demokrasi untuk mewujudkan karya-karya yang baik dan bermanfaat bagi kelangsungan bangsa ini.



Sisi lain pembangunan Istana Garuda yang menjadi ikon kawasan IKN, ia harus mampu tumbuh menjadi magnet baru di Indonesia Timur. Secara nyata kita akan lihat pemerataan di bidang pembangunan yang berasaskan keadilan. Pulau Kalimantan nyaris senantiasa tenggelam dalam perbincangan industri *travelling*, jika dibandingkan dengan daerah-daerah seperti Bali, Lombok, Yogyakarta, dan bahkan Raja Ampat. Pulau yang memiliki luas 743.330 kilometer persegi ini lebih dikenal sebagai pulau penghasil tambang setelah era kayu hutan berakhir. Tanah dan rimbanya, senantiasa dikeruk untuk memenuhi hasrat ekonomi manusia. Ia tidak pernah dilihat sebagai pulau dengan keindahan mosaik kultural, yang sesungguhnya menjadi modal penting dalam pengembaraan industri pariwisata.

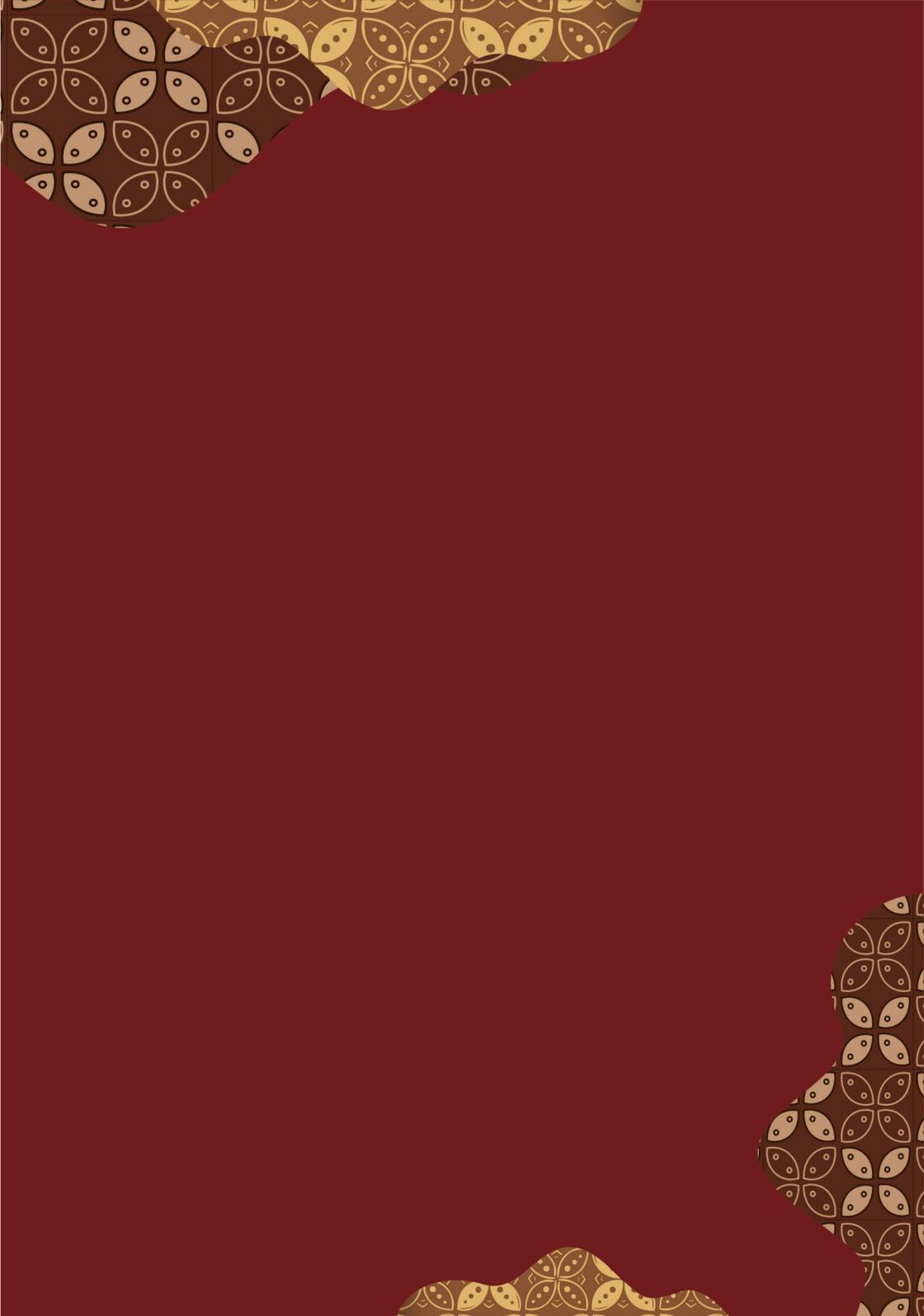


Bapak, Ibu, dan saudara-saudara yang saya muliakan, pada akhirnya seni, sains, dan teknologi harus menjadi kawan sejalan dalam upaya membangun peradaban. Untuk membentuk citra estetik pada satu karya seni, dia membutuhkan perencanaan yang matang dari sisi teknologi dan memerlukan kajian dari sisi sains, sehingga ia benar-benar lahir menjadi karya yang monumental. Monumentalitas adalah syarat utama bangunan-bangunan ikonik, sehingga ia menjadi magnet kawasan. Dengan begitu, ia akan memberi imbas bagi pertumbuhan ekonomi di sekitarnya.

Demikianlah hal-hal yang prinsip yang bisa dan mampu saya ungkapkan dalam kesempatan ini. Sekali lagi saya ingin katakan, kami merasa terhormat menerima Habibie Prize Tahun 2021 dalam bidang filsafat, agama, dan kebudayaan. Semoga penghargaan ini menjadi pelecut bagi kami untuk terus berkerja dan menghasilkan karya-karya terbaik, yang mudah-mudahan menjadi kebanggaan bangsa dan negara. Atas segala kehormatan yang telah diberikan kepada kami, sekali lagi, kami sampaikan terima kasih. Semoga Tuhan senantiasa memberi kesehatan bagi kita semua.

Wassalam'muallaikum warahmatullahi wabarakatuh
Om Santhi, Santhi, Santhi Om.

Bandung, Akhir Oktober 2021



RINGKASAN PEMBERITAAN HABIBIE PRIZE 2021

BADAN RISET DAN INOVASI (BRIN)

Dalam rangka melanjutkan harapan dan cita-cita BJ Habibie dalam membangun sumber daya manusia (SDM) Indonesia yang unggul dan berdaya saing, Habibie Prize Tahun 2021 dilaksanakan. Pelaksanaan Habibie Prize merupakan salah satu upaya untuk melanjutkan harapan dan cita-cita Habibie membangun SDM Indonesia yang unggul dan berdaya saing. Dia menilai, semua itu sejalan dengan visi kenegaraan Presiden Joko Widodo dalam hal pengembangan SDM. Pembangunan SDM unggul akan sangat mendukung kemajuan Indonesia dan menjadi salah satu kunci utama peningkatan daya saing di percaturan global. Kemajuan suatu bangsa tidak cukup hanya dengan tersedianya sumber daya alam yang melimpah dan pembangunan infrastruktur yang masif, tetapi juga harus didukung dengan peningkatan kualitas SDM. SDM Indonesia yang mampu berinovasi untuk membangun bangsa.

Sosok BJ Habibie telah menunjukkan kepada bangsa Indonesia akan kemampuan Indonesia untuk berinovasi dan memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) untuk kemajuan dan kedaulatan bangsa. Indonesia maju dan berdaulat dapat dicapai apabila pembangunan SDM disiapkan secara sungguh-sungguh dan bersinergi.

Penghargaan ini merupakan momentum dan dorongan untuk kita semua berupaya menghasilkan lebih banyak lagi prestasi-prestasi lainnya. Semoga Habibie Prize menjadi motivasi dan inspirasi bagi para peneliti, ilmuwan, dan masyarakat untuk terus berkarya dan berkontribusi di berbagai bidang, khususnya bidang iptek, guna mendorong kemajuan dan kesejahteraan bangsa Indonesia.

Habibie Prize merupakan penghargaan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) bergengsi di Indonesia yang diberikan pada sosok dengan keunggulan tinggi di bidang iptek. Peraih penghargaan merupakan sosok-sosok yang mampu menghasilkan temuan-temuan baru dibidangnya untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia. Sebelum berganti pada 2020, Habibie Prize dikenal dengan nama Habibie Award. Salah satu penerima Habibie Award tahun 2019, Prof. Dr. Adi Utarini, MSc., MPH. kelak terpilih menjadi salah satu dari 10 ilmuwan berpengaruh dunia oleh jurnal ilmiah Nature pada 2020. Prof. Adi Utarini juga dinobatkan Majalah Time sebagai peneliti Indonesia yang masuk dalam 100 orang paling berpengaruh dunia

pada 2021. Habibie Award dimulai pada 1999, setelah keluarga Prof. Dr. Ing. B.J. Habibie mendirikan Yayasan SDM IPTEK. Sejak itu, sebanyak 71 ilmuwan Indonesia sudah dianugerahi penghargaan Habibie Award.

Hadir pula pada kesempatan tersebut para Pengurus Yayasan SDM-Iptek, Wardiman Djojonegoro, Wardiman dan Ilham Habibie. Pada Kesempatan kali ini penerima penghargaan Habibie Prize diseleksi oleh para pakar dari berbagai disiplin ilmu yang tergabung dalam Panitia Seleksi. Penghargaan diberikan kepada perseorangan yang aktif dan sangat berjasa dalam penemuan, pengembangan, dan penyebarluasan berbagai kegiatan ilmu pengetahuan dan teknologi yang baru serta bermanfaat secara signifikan bagi peningkatan kesejahteraan, keadilan, dan perdamaian.

Tahun ini, terdapat total 90 kandidat dari kelima bidang ilmu yang kemudian diseleksi dan dinilai oleh dewan juri yang kemudian ditetapkan dalam suatu rapat pleno yang dipimpin oleh Ketua Panitia Dewan Juri Habibie Prize 2021. Hadiah Habibie Prize diberikan kepada masing-masing pemenang dalam bentuk medali, sertifikat, dan uang sebesar USD 25.000.

Para pemenang Anugerah Habibie Prize 2021, yakni: Kategori A Bidang Ilmu Dasar diberikan kepada Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN, Prof Dr Muhammad Hanafi MSc. Kategori B Bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi diberikan kepada Dosen Universitas Airlangga/Leiden University Medical Center, The Netherlands, Assoc. Prof dr Nicolaas C Budhiparama PhD SpOT(K) FICS. Kategori C Bidang Ilmu Rekayasa diberikan kepada Dosen Institut Teknologi Bandung, Prof Dr Ir Subagjo DEA. Kategori D Bidang Ilmu Filsafat, Agama, dan Kebudayaan diberikan kepada Seniman, Dr (HC) Nyoman Nuarta.

Setelah Habibie Prize 2021 digelar secara daring pada tanggal 17 November 2021, pemberitaan yang memuat Habibie Prize 2021 ini ada 41 media baik media televisi, media online dan kanal youtube



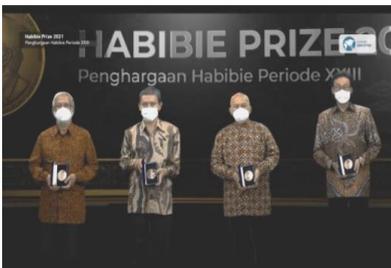
4 Ilmuwan Indonesia Raih Penghargaan Habibie Prize 2021, Ini Sosoknya

Trisna Wulandari - detikEdu

Kamis, 18 Nov 2021 18:00 WIB

0 komentar

SHARE   



Empat ilmuwan Indonesia raih anugerah Habibie Prize 2021. Foto: Kanal Youtube BPN Indonesia

4 Ilmuwan Indonesia Raih Penghargaan Habibie Prize 2021, Ini Sosoknya

Media online: www.detik.com

Empat ilmuwan Indonesia meraih anugerah Habibie Prize 2021, Rabu (17/11/2021). Keempat ilmuwan tersebut dianugerahi penghargaan Habibie Prize Bidang Ilmu Dasar, Bidang Kedokteran dan Bioteknologi, Bidang Ilmu Rekayasa, dan Bidang Ilmu Filsafat, Agama dan Kebudayaan.

Habibie Prize merupakan penghargaan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) bergengsi di Indonesia yang diberikan

pada sosok dengan keunggulan tinggi di bidang iptek. Peraih penghargaan merupakan sosok-sosok yang mampu menghasilkan temuan-temuan baru dibidangnya untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



4 Ilmuwan Terima Anugerah Habibie Prize 2021

Media online: www.medcom.id

Sebanyak empat ilmuwan menerima anugerah Habibie Prize 2021. Mereka dinilai memiliki kontribusi yang kuat pada bidang ilmu di kategori masing-masing.

Kategori bidang ilmu dasar diraih oleh M.Hanafi, Kategori bidang ilmu kedokteran dan Bioteknologi diraih oleh Nicholas Cyrillus Budhiparama. Selanjutnya, pada Kategori bidang ilmu rekayasa dimenangkan Subagjo. Sedangkan, kategori bidang ilmu filsafat, agama dan kebudayaan dimenangkan oleh Nyoman Nuarta.

Kepala Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN), Laksana Tri Handoko mengungkapkan, jika para penerima anugerah itu telah melalui seleksi yang panjang. Para pemenang diseleksi dari 90 nominasi yang ada.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

Empat Ilmuwan Raih Habibie Prize

Empat ilmuwan dan tokoh dari berbagai bidang meraih penghargaan Habibie Prize 2021. Mereka berlatar belakang ilmu kimia, ortopedik, katalis, hingga seniman patung.

Diari: PRADIPTA PANJUH
17 November 2021 18:20 WIB • 3 menit baca



Para peraih Habibie Prize 2021 saat prosesi pemberian penghargaan secara daring, Rabu (17/11/2021).

JAKARTA, KOMPAS.com — Empat ilmuwan dan tokoh dari berbagai bidang meraih penghargaan Habibie Prize 2021. Mereka berlatar belakang ilmu kimia, ortopedik, katalis, hingga seniman patung. Ke depan, diharapkan para penerim Habibie Prize ini tetap produktif dan meningkatkan kontribusinya di bidang masing-masing.

Empat ilmuwan dan tokoh peraih Habibie Prize 2021 itu ialah Muhammad Hanafi (bidang ilmu dasar), Nicolaas C Budhiparama (bidang ilmu kedokteran dan bioteknologi), Subagio (bidang ilmu rekayasa), dan Nyoman Nuarta (bidang ilmu kebudayaan).

Empat Ilmuwan Raih Habibie Prize 2021

Media online: www.kompas.com

Empat ilmuwan dan tokoh dari berbagai bidang meraih penghargaan Habibie Prize 2021. Mereka berlatar belakang ilmu kimia, ortopedik, katalis, hingga seniman patung. Ke depan, diharapkan para penerima Habibie Prize ini tetap produktif dan meningkatkan kontribusinya di bidang masing-masing.

Empat ilmuwan dan tokoh peraih Habibie Prize 2021 itu ialah Muhammad Hanafi (bidang ilmu dasar), Nicolaas C Budhiparama (bidang ilmu kedokteran dan bioteknologi), Subagio (bidang ilmu rekayasa), dan Nyoman Nuarta (bidang ilmu kebudayaan).

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

/berita/2529841/mengenal-sosok-ilmuwan-para-penerima-habibie-prize-2021

Buku Tembak Tawas... Binomo - Platform... PAKET DATA TELKO... Meet - fcy-h

TOP NEWS | TERKINI | TENTANG KAMI



HOME POLITIK HUKUM EKONOMI METRO SEPAKBOLA OLARAHAGA HUMANIORA LIFESTYLE
FOKUS BIOGRAFI FOTO VIDEO TEKNO OTOMOTIF WAJIB BUKU KARIRHAS ANTI HOAX ANTARA RT

Artikel Mengenal sosok ilmuwan para penerima Habibie Prize 2021

Diari Martha Hariyanto Simanjuntak • 17 November 2021 18:12 WIB



Mengenal sosok ilmuwan para penerima Habibie Prize 2021

Media online: www.antaranews.com

Para ilmuwan yang menciptakan inovasi unggul dan menghasilkan terobosan yang bermanfaat bagi kemajuan dan kesejahteraan bangsa dan negara serta mengharumkan nama bangsa, patut untuk mendapatkan penghargaan dan apresiasi.

Dalam mengapresiasi putra puteri bangsa yang prestasi unggul an berkarya penting bagi bangsa dan negara Indonesia, Habibie Prize hadir.

Habibie Prize merupakan penghargaan yang diberikan kepada perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi di bidang iptek dengan kriteria yang sangat tinggi, serta mampu menghasilkan temuan-

temuan baru di bidangnya untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



The screenshot shows a web browser displaying a news article. The URL is mediaindonesia.com/humaniora/447592/ini-profil-4-penerima-penghargaan-habibie-prize-2021. The article title is "Ini Profil 4 Penerima Penghargaan Habibie Prize 2021" by M Iqbal Al Machmudi from Humaniora. The main image shows four men in traditional Indonesian attire (Korpri) standing on a stage, each holding a certificate. The text "HABIBIE PRIZE 2021" and "Penghargaan Habibie Periode VIII" is overlaid on the image. Below the image, the text reads: "Empat penerima Habibie Prize 2021 (kiri-kanan), Prof Subagjo, Prof Hanafi, Prof Nyoman Nuarta dan Prof Nicholaas C Budhiparama."

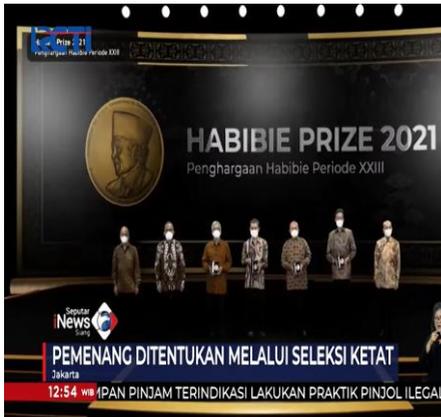
Ini Profil 4 Penerima Penghargaan Habibie Prize 2021

Media online: www.mediaindonesia.com

Empat ilmuwan Indonesia mendapatkan penghargaan Habibie Prize Periode 2021 karena kontribusinya pada ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK). Seperti apa sosok mereka?

1. Bidang Ilmu Dasar Peraih Habibie Prize 2021 di bidang Ilmu Dasar adalah Prof Dr Muhammad Hanafi, peneliti di pusat riset kimia Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).
2. Bidang Ilmu Dasar Peraih Habibie Prize 2021 di bidang Ilmu Dasar adalah Prof Dr Muhammad Hanafi, peneliti di pusat riset kimia Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).
3. Bidang Ilmu Rekayasa Ilmuwan ketiga penerima Habibie Prize 2021 ialah Prof dr Subagjo atas kepakarannya di bidang ilmu rekayasa. Subagjo merupakan pencetus, perancang, pemimpin peneliti dalam bidang ilmu katalis. Penelitiannya juga membuka peluang untuk meningkatkan kesejahteraan petani sawit swadaya Indonesia yang mencapai 37 juta kepala keluarga ini.
4. Bidang Ilmu Kebudayaan Penerima keempat Habibie Prize 2021 di bidang ilmu kebudayaan jatuh pada Dr Nyoman Nuarta karena telah membuat Mahakarya Patung Garuda Wisnu Kencana (GWK) yang prosesnya memakan waktu hingga 28 tahun.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



Habibie Prize 2021 Berikan Apresiasi kepada Anak Bangsa yang Berhasil Ciptakan Inovasi

Media online: iNews Official Youtube Channel

Melanjutkan cita-cita almarhum BJ Habibie, yayasan sumber daya manusia ilmu pengetahuan dan teknologi bersama Badan Riset dan Inovasi Nasional kembali memberikan penghargaan nasional dalam Habibie Prize 2021. Sejak digelar dari tahun 1999 lalu, Hbibie Prize diberikan kepada perseorangan yang berjasa melakukan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Terdapat 5 kategori yang dilombakan yaitu bidang ilmu dasar, ilmu kedokteran dan bioteknologi, ilmu rekayasa, ilmu ekonomi, social, dan hukum serta ilmu filsafat, agama dan kebudayaan.

Laksana Tri Handoko menyampaikan bahwa penerima Habibie Prize diharapkan untuk terus produktif dan meningkatkan kontribusinya di bidang masing-masing serta melakukan yang terbaik untuk bangsa ini.

Habibie Prize dilaksanakan secara daring pada tanggal 17 November 2021 dan disaksikan oleh executive chairman MNC Grup Bapak Hari Tanusoedibyo

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

/4713018/4-tokoh-terima-penghargaan-habibie-prize-2021-atas-jasanya-di-

bak Tevas... Binomo - Platform... PAKET DATA TELKO... Meet - fcq-ha

NEWS BIRNIS SAHAM SHOWBIZ BOLA FOTO TEKNO CEKFAKTA VIDEO HOT REGION
NEWS Politik Peristiwa Megapolitan Rajut Liputan Khusus Infografis Zona MP

4 Tokoh Terima Penghargaan Habibie Prize 2021 Atas Jasanya di Bidang Iptek

ira Defiant
17 Nov 2021, 11:57 WIB



Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Laksana Tri Handoko. (Foto: Dok. BRIN)

Liputan6.com, Jakarta - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bersama Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) kembali menggelar penganugerahan Habibie Prize 2021.

Kepala BRIN Laksana Tri Handoko menyatakan, penganugerahan Habibie prize tahun 2021 terdapat lima kategori bidang iptek dan inovasi yang diperebutkan. Yakni ilmu dasar; ilmu kedokteran dan bioteknologi; ilmu rekayasa; ilmu ekonomi, sosial, politik, dan hukum; serta ilmu filsafat, agama, dan kebudayaan.

4 Tokoh Terima Penghargaan Habibie Prize 2021 Atas Jasanya di Bidang Iptek

Media online: www.liputan6.com

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bersama Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) kembali menggelar penganugerahan Habibie Prize 2021

Kepala BRIN Laksana Tri Handoko menyatakan, penganugerahan Habibie prize tahun 2021 ini terdapat lima kategori bidang iptek dan inovasi yang diperebutkan. Yakni ilmu dasar; ilmu kedokteran dan bioteknologi; ilmu rekayasa; ilmu ekonomi, sosial, politik, dan hukum; serta ilmu filsafat, agama, dan kebudayaan.

Tahun ini terdapat total 90 kandidat dari kelima bidang ilmu tersebut, yang kemudian diseleksi dan dinilai oleh dewan juri yang kemudian ditetapkan dalam suatu rapat pleno yang dipimpin oleh Ketua Panitia/Dewan Juri Habibie Prize 2021," kata Handoko di Jakarta, Rabu (17/11/2021).

Dia mengharapkan, penerima Habibie Prize 2021 dapat terus produktif menghasilkan karya-karya dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Hal tersebut untuk mendorong kemajuan dan kesejahteraan bangsa Indonesia.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

Berkenalan dengan 4 Ilmuwan Penerima Habibie Prize 2021

Jumat, 19 Nov 2021 06:02 WIB

Revi Dwi Murdiantingih



Garuda Wisnu, Amerta yang dibelikan oleh Nyoman Nuarta, salah satu penerima Habibie Prize 2021. Foto: ANTARA FOTO/PR

mendapat anugerah Habibie Prize

Berkenalan dengan 4 Ilmuwan Penerima Habibie Prize 2021

Media online: www.republika.co.id

Empat ilmuwan mendapat anugerah Habibie Prize 2021. Habibie Prize merupakan penghargaan bagi perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) dengan kriteria yang sangat tinggi.

Sejak pelaksanaan pertama pada 1999 hingga 2020, anugerah tersebut telah diberikan kepada 71 ilmuwan. Pada 2020 pemberian penghargaan diambil alih oleh Kementerian Riset dan Teknologi dan nama penghargaan berganti menjadi Habibie Prize.

Pada 17 November 2021, dilakukan penganugerahan Habibie Prize 2021 oleh BRIN dan Yayasan SDM Iptek kepada empat ilmuwan Indonesia. Mereka adalah Prof. Dr. Ir. Subagio, DEA untuk kategori bidang Ilmu Rekayasa, dan Prof. Dr. Muhammad Hanafi untuk kategori bidang Ilmu Dasar. Kemudian Prof. Dr. Nicolaas Cyrillus Budhiparama, Ph.D, Sp.OT(K)FICS untuk kategori bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi, dan Dr. (HC) Nyoman Nuarta untuk kategori bidang Ilmu Filsafat, Agama dan Kebudayaan.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

Media Online Karya pada 2021, Tambah 310 Tilitasi + LVE: Rujukan kembali 32 poin (12:10 WIB) + LVE: #403 naik esai (1)

Menu **Bisnis.com**

Inilah 4 Penerima Habibie Prize Tahun 2021

Sebanyak 4 peneliti meraih Habibie Prize 2021. Penghargaan diberikan kepada perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi di bidang iptek.

Indra Gunawan - Bisnis.com
17 November 2021 | 14:13 WIB



Tangkapan layar - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) berkolaborasi dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) kembali menggelar penghargaan Habibie Prize 2021. (BR - Bisnis/Anany Juntia)

Bisnis.com. JAKARTA—Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) dan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) menganugerahkan Habibie Prize 2021 kepada empat orang, Rabu (17/11/2021).

Keempat penerima penghargaan itu: Bidang Ilmu Dasar yaitu Muhammad Hanafi, Bidang Budhuparama Rifani Ilmu Rekayasa Suhuana, dan Rifani Ilmu

Inilah 4 Penerima Habibie Prize Tahun 2021

Media online: www.kabar24.bisnis.com

Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) dan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) menganugerahkan Habibie Prize 2021 kepada empat orang, Rabu (17/11/2021).

Keempat penerima penghargaan itu: Bidang Ilmu Dasar yaitu Muhammad Hanafi, Bidang Kedokteran Nicolaas C Budhuparama, Bidang Ilmu Rekayasa Subagyo, dan Bidang Ilmu Kebudayaan yakni Nyoman Nuarta.

Habibie Prize merupakan penghargaan yang diberikan kepada perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi di bidang iptek dengan kriteria yang sangat tinggi, serta mampu menghasilkan temuan-temuan baru di bidangnya untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

Empat Ilmuwan Raih Habibie Prize 2021

Selengkapnya — 17 November 2021 | 0 Comments



111.159 total views

Jakarta, Technology Indonesia.com - Empat ilmuwan menerima penghargaan Habibie Prize 2021 karena dinilai memberi kontribusi kuat pada bidang masing-masing. Habibie Prize merupakan penghargaan yang diberikan kepada perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi di bidang iptek dengan kriteria yang sangat tinggi, serta mampu menghasilkan temuan-temuan baru di bidangnya untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia.

Penerima Habibie Prize Kategori Bidang Ilmu Dasar adalah Prof. Dr. Muhammad Hanafi, M.Sc (Pemeriti Pusat Riset Ilmu Kimia BRIN), kategori Bidang Ilmu Kedokteran dan Biorevolusi adalah Assoc. Prof. dr. Nicolaas C. Budhuparama, Ph.D Sp.OTR, RICE (Dosen Universitas Ar-Raniry Medical Center, The baherbarasia), kategori Bidang Ilmu Rekayasa adalah Prof. Dr. Ir. Subagyo, DEA (Dosen Institut Teknologi Bandung), dan kategori Bidang Ilmu Filosofis, Agama dan Kebudayaan: Dr. (Hc) Nyoman Nuarta (Seniman). Sementara untuk kategori Bidang Ilmu Ekonomi, Sosial, Politik, dan Hukum tidak ada yang mendapatkan.

Empat Ilmuwan Raih Habibie Prize 2021

Media online: <http://technology/indonesia.com>

Empat ilmuwan menerima penghargaan Habibie Prize 2021 karena dinilai memberi kontribusi kuat pada bidang masing-masing. Habibie Prize merupakan penghargaan yang diberikan kepada perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi dibidang Iptek dengan kriteria yang sangat tinggi, serta mampu menghasilkan temuan-

temuan baru di bidangnya untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia.

Penerima Habibie Prize Kategori Bidang Ilmu Dasar adalah Prof. Dr. Muhammad Hanafi, M.Sc (Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN); Kategori Bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi adalah Assoc. Prof. dr. Nicolaas C. Budhiparama, Ph.D, Sp.OT(K)., FICS (Dosen Universitas Airlangga/Leiden University Medical Center, The Netherlands); Kategori Bidang Ilmu Rekayasa adalah Prof. Dr. Ir. Subagjo, DEA (Dosen Institut Teknologi Bandung); dan Kategori E Bidang Ilmu Filsafat, Agama dan Kebudayaan: Dr. (HC) Nyoman Nuarta (Seniman). Sementara untuk Kategori Bidang Ilmu Ekonomi, Sosial, Politik, dan Hukum tidak ada yang mendapatkan.

Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Laksana Tri Handoko menyampaikan, pelaksanaan Habibie Prize 2021, merupakan salah satu upaya melanjutkan harapan dan cita-cita Prof. Dr. Ing. H. Bacharuddin Jusuf Habibie untuk membangun Sumber Daya Manusia (SDM) Indonesia unggul dan berdaya saing yang sejalan dengan misi Presiden RI Joko Widodo dalam hal pengembangan SDM.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

Did You Know: Habibie Prize, Penghargaan Tertinggi bagi Insan Iptek Indonesia

Lutfia Dwi Kurniasih, Okezone · Jum'at 17 September 2021 08:10 WIB



Habibie Prize. (Foto: Instagram BRIN)

Did you know Habibie Prize penghargaan tertinggi bagi insan iptek Indonesia

Media online: www.okezone.com

Habibie Prize adalah penghargaan tertinggi kepada insan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Iptek) di Indonesia yang telah berjasa dalam kehidupan intelektual dan telah menghasilkan karya yang luar biasa. Demikian dikutip dari Instagram BRIN Indonesia.

Nama "Habibie" digunakan untuk mengenang jasa Prof. Dr. Ing. H. Bacharuddin Jusuf Habibie I, Presiden Republik Indonesia ketiga, yang sekaligus sebagai Pencetus Anugerah Habibie Award tahun 1978-1998. Penghargaan ini dikenal luas sebagai hasil intelektual internasional dalam bidang teknologi, atas pemikiran, komitmen dan dedikasi besar beliau dalam upaya memajukan IPTEK di Indonesia.

Habibie Prize diberikan kepada putra dan putri terbaik bangsa Indonesia yang aktif, berprestasi, dan berjasa dalam penemuan, pengembangan, dan penyebarluasan berbagai kegiatan IPTEK yang inovatif serta bermanfaat secara signifikan bagi peningkatan kesejahteraan, keadilan, dan perdamaian di Indonesia.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

Inilah Empat Ilmuwan yang Terima Habibie Prize 2021

by **Fathur Roji** — 19 November 2021 in Nasional



Inilah Empat Ilmuwan yang Terima Habibie Prize 2021

Media online: www.gontornews.com

Empat orang ilmuwan dari empat kategori bidang ilmu yang berbeda pada Rabu (17/11) dianugerahi Habibie Prize 2021 yang digelar oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) berkolaborasi dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek).

Para pemenang Anugerah Habibie Prize 2021 yaitu, Kategori A Bidang Ilmu Dasar diberikan kepada Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN, Prof Dr Muhammad Hanafi MSc. Kategori B Bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi diberikan kepada Dosen Universitas Airlangga/Leiden University Medical Center, The Netherlands, Assoc. Prof dr Nicolaas C Budhiparama PhD SpOT(K) FICS. Kategori C Bidang Ilmu Rekayasa diberikan kepada Dosen Institut Teknologi Bandung, Prof Dr Ir Subagjo DEA. Kategori D Bidang Ilmu Filsafat, Agama, dan Kebudayaan diberikan kepada Seniman, Dr (HC) Nyoman Nuarta.

Penghargaan Habibie Prize 2021 diserahkan Handoko bersama Ketua Yayasan SDM Iptek Wardiman Djojonegoro, dan perwakilan keluarga B.J. Habibie, Ilham Habibie. Masing-masing pemenang mendapatkan medali, sertifikat, dan uang sebesar USD 25.000.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



BARU

Habibie Prize 2021 Diraih Lima Orang Dari Berbagai Disiplin Ilmu

Laporan: Akbar Budi Prasasta | Rabu, 17 November 2021 | 21:24



Kepala BRIN, Laksana Tri Handoko, dalam ajang Habibie Prize 2021. (iNews)



infoindonesia | JAKARTA - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bekerja sama dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) menggelar penganugerahan Habibie Prize 2021. Acara ini turut dihadiri Presiden RI, Joko Widodo, secara virtual.

Kepala BRIN, Laksana Tri Handoko, menjelaskan, dalam penganugerahan Habibie Prize 2021 terdapat lima kategori bidang iptek dan inovasi yang diperebutkan yaitu Ilmu Dasar, Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi, Ilmu Rekayasa, Ilmu Ekonomi, Sosial, Politik, dan Hukum serta Ilmu Filsafat, Agama dan Kebudayaan.

Habibie Prize diraih Ilmuwan dari Berbagai Disiplin Ilmu

Media online: www.infoindonesia.id

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bekerja sama dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) menggelar penganugerahan Habibie Prize 2021. Acara ini turut dihadiri Presiden RI, Joko Widodo, secara virtual.

Kepala BRIN, Laksana Tri Handoko, menjelaskan, dalam penganugerahan Habibie Prize 2021 terdapat lima kategori bidang iptek dan inovasi yang diperebutkan yaitu Ilmu Dasar, Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi, Ilmu Rekayasa, Ilmu Ekonomi, Sosial, Politik, dan Hukum serta Ilmu Filsafat, Agama dan Kebudayaan.

Habibie Prize 2021 diserahkan langsung oleh Kepala BRIN, Ketua Yayasan SDM Iptek, Wardiman Djojonegoro, dan Ilham Habibie selaku perwakilan keluarga B.J. Habibie. Masing-masing pemenang mendapatkan penghargaan berupa medali, sertifikat dan uang senilai USD25 ribu

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

Habibie Prize 2021, Ada Lima Kategori Iptek dan Inovasi

Rabu, 17 November 2021 | 14:53 WIB | Penulis: G. Suranto | Redaktur: Untung S



Jakarta, InfoPublik - Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Laksana Tri Handoko menyampaikan, pelaksanaan Habibie Prize 2021, merupakan salah satu upaya melanjutkan harapan dan cita-cita Prof. Dr. Ing. H. Bacharuddin Jusuf Habibie, membangun Sumber Daya Manusia (SDM) Indonesia unggul dan berdaya saing yang sejalan dengan misi Presiden RI Joko Widodo dalam hal pengembangan SDM.

"Pembangunan SDM yang unggul, akan sangat mendukung kemajuan Indonesia. Dengan SDM yang unggul menjadi salah satu kunci utama meningkatkan daya saing di percuturan global," disampaikan Kepala BRIN pada acara Pengantugrahan Habibie Prize 2021 di Jakarta, Rabu (17/11/2021).

3-19-di-sorong-capai-64-708-orang | [Lihat lebih banyak berdasarkan sumber berita alam untuk memaham lebih](#)

Habibie Prize 2021 Ada Lima Kategori Iptek dan Inovasi

Media online: www.infopublik.id

Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Laksana Tri Handoko menyampaikan, pelaksanaan Habibie Prize 2021, merupakan salah satu upaya melanjutkan harapan dan cita-cita Prof. Dr. Ing. H. Bacharuddin Jusuf Habibie, membangun Sumber Daya Manusia (SDM) Indonesia unggul dan berdaya saing yang sejalan dengan misi Presiden RI Joko Widodo dalam hal pengembangan SDM.

Habibie Prize diselenggarakan oleh BRIN bekerja sama dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) setiap tahun, sebagai agenda nasional. Berdasarkan piagam serah terima Habibie Award dari Yayasan SDM Iptek kepada BRIN yang telah ditandatangani pada 6 November 2020 disepakati menyelenggarakan pemberian Habibie Award secara bersama-sama menjadi Habibie Prize.

Dalam penganugrahan Habibie Prize 2021 ini, terdapat lima kategori bidang iptek dan inovasi, yaitu Ilmu Dasar, Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi, Ilmu Perakayasa, Ilmu Ekonomi, Sosial politik, dan Hukum, serta Ilmu Filsafat, Agama, dan Kebudayaan.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)





Ini Empat Ilmuwan Dianugerahi Habibie Prize 2021


 ROL
 REPUBLIKA ONLINE
 Published Online - Thu, 18 Nov 2021 09:38
 Dikawat: 62

[WhatsApp](#)
[Facebook](#)
[Twitter](#)
[LinkedIn](#)
[Google+](#)



JAKARTA – Dalam rangkaian kegiatan di kota BJ Habibie membangun sumber manusia (SDM) Indonesia unggul dan berdaya saing Habibie Prize Tahun dilaksanakan. Di tahu terdapat empat orang il yang dianugerahi Habibi yang berasal dari kategori bidang ilmu berbeda.

"Kemajuan suatu bangsa cukup hanya t tersedianya sumber daya yang melimpah pembangunan infrastruktur fisik, tetapi juga didukung dengan peran kualitas SDM. SDM Ind yang mampu berinovasi

membangun bangsa." ujar Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Laksana Tri Handoko, pada kegiatan yang di secara daring Rabu (17/11).

Ini Empat Ilmuwan Dianugerahi Habibie Prize 2021

Media online: www.skana.com

Tahun ini, terdapat total 90 kandidat dari kelima bidang ilmu yang kemudian diseleksi dan dinilai oleh dewan juri yang kemudian ditetapkan dalam suatu rapat pleno yang dipimpin oleh Ketua Panitia Dewan Juri Habibie Prize 2021.

Kepada para penerima Habibie Prize, saya mengucapkan selamat dan semoga Saudara sekalian dapat terus berkarya dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Hadiah Habibie Prize diberikan kepada masing-masing pemenang dalam bentuk medali, sertifikat, dan uang sebesar USD 25.000

Para pemenang Anugerah Habibie Prize 2021, yakni: Kategori A Bidang Ilmu Dasar diberikan kepada Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN, Prof Dr Muhammad Hanafi MSc. Kategori B Bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi diberikan kepada Dosen Universitas Airlangga/Leiden University Medical Center, The Netherlands, Assoc. Prof dr Nicolaas C Budhiparama PhD SpOT(K) FICS. Kategori C Bidang Ilmu Rekayasa diberikan kepada Dosen Institut Teknologi Bandung, Prof Dr Ir Subagjo DEA. Kategori D Bidang Ilmu Filsafat, Agama, dan Kebudayaan diberikan kepada Seniman, Dr (HC) Nyoman Nuarta.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

sedelium 11our benon Lukup Lakukan ini nanya dalam

HOME / NASIONAL

Ini Empat Ilmuwan Dianugerahi Habibie Prize 2021

Redaksi — Kamis, 10/11/2021 - 00:05 WIB Waktu Baca: 2 mins read AA



11 DIBACA
221 DILIHAT

Pembangunan SDM unggul menjadi salah satu kunci utama daya saing di percaturan global

JAKARTA — Dalam rangka melanjutkan harapan dan cita-cita BJ Habibie dalam membangun sumber daya manusia (SDM) Indonesia yang unggul dan berdaya saing, Habibie Prize Tahun 2021 dilaksanakan. Di tahun ini, terdapat empat orang ilmuwan yang dianugerahi Habibie Prize yang berasal dari empat kategori bidang ilmu yang berbeda.

Ini Empat Ilmuwan Dianugerahi Habibie Prize 2021

Media online: www.harianaceh.co.id

Dalam rangka melanjutkan harapan dan cita-cita BJ Habibie dalam membangun sumber daya manusia (SDM) Indonesia yang unggul dan berdaya saing, Habibie Prize Tahun 2021 dilaksanakan. Di tahun ini, terdapat empat orang ilmuwan yang dianugerahi Habibie Prize yang berasal dari empat kategori bidang ilmu yang berbeda.

Pelaksanaan Habibie Prize merupakan salah satu upaya untuk melanjutkan harapan dan cita-cita Habibie membangun SDM Indonesia yang unggul dan berdaya saing. Dia menilai, semua itu sejalan dengan visi kenegaraan Presiden Joko Widodo dalam hal pengembangan SDM.

Para pemenang Anugerah Habibie Prize 2021, yakni: Kategori A Bidang Ilmu Dasar diberikan kepada Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN, Prof Dr Muhammad Hanafi MSc. Kategori B Bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi diberikan kepada Dosen Universitas Airlangga/Leiden University Medical Center, The Netherlands, Assoc. Prof dr Nicolaas C Budhiparama PhD SpOT(K) FICS.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



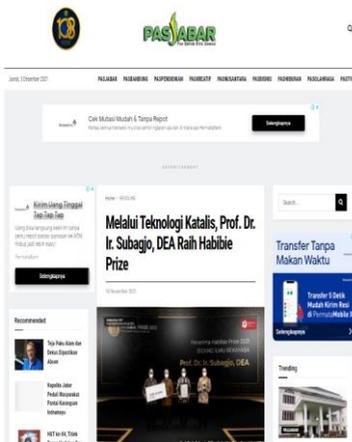
Habibie Prize 2021 Apresiasi untuk Ilmuwan Indonesia

Media online: www.mnctrijaya.com

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bekerjasama dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) kembali menggelar penganugerahan Habibie Prize 2021. Penganugerahan Habibie Prize Tahun ini akan dilangsungkan pada Tanggal 17 November 2021 secara daring dan akan dihadiri oleh Presiden Republik Indonesia, Joko Widodo.

Habibie Prize merupakan penghargaan yang diberikan kepada perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi dibidang IPTEK dengan kriteria yang sangat tinggi, serta mampu menghasilkan temuan-temuan baru dibidangnya untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



Melalui Teknologi Katalis, Prof. Dr. Ir. Subagjo, DEA Raih Habibie Prize

Media online: www.pasjabar.com

Prof. Dr. Ir. Subagjo, DEA meraih penghargaan Habibie Prize tahun 2021 untuk kategori ilmu rekayasa. Penyerahan penghargaan dilakukan pada Rabu (17/11/2021).

Guru Besar Fakultas Teknologi Industri (FTI) ITB ini, mendapatkan penghargaan tersebut, atas karyanya dalam pengembangan Iptek melalui

teknologi katalis. Subagjo merupakan lulusan ITB tahun 1975, dan melanjutkan studi sampai S3 di Universite de Poitier, Prancis tahun 1981. Ia merupakan peneliti di Kelompok Keahlian Teknologi Reaksi Kimia dan Katalis.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

The screenshot shows a news article on the TEMPO.CO website. At the top, there is a banner for 'Asuransi Mobil' with a car image and text: 'DIJAMIN TERHEMAT', 'Rp.3.050.000/tahun', 'Rp 1.982.500/tahun', '500+ Bangkai Reklaman', 'Ura Mobil 1 sd 10 Tahun', and 'Klaim Mudah Semua Kerusakan'. Below the banner, the article title is 'Raih Habibie Prize 2021, Nyoman Nuarta Sebut Hanya Bisa Mematung'. The article text includes: 'TEMPO.CO, Jakarta - Seniman patung Nyoman Nuarta dianugerahi penghargaan Habibie Prize 2021 dari Bidang Ilmu Kebudayaan, Pro Keshahsan Tabanan, Bali, 70 tahun yang lalu, itu menjadi satu dari empat pemenang penghargaan yang di antaranya mendapatkan uang senilai US\$ 25 ribu atau setara Rp 365 juta itu.' It also mentions 'Habibie Prize, sebelumnya bernama Habibie Award, merupakan salah satu upaya untuk melanjutkan harapan dan cita-cita Bacharuddin Jusuf Habibie membangun SDM Indonesia unggul dan berdaya saing. Presiden RI ketiga yang dijuluki Bapak Teknologi itu lalu menginisiasi penghargaan untuk memberikan semangat kepada mereka yang mampu berinovasi untuk membangun bangsa.' At the bottom, it says 'Nyoman memiliki salah satu karya yang dinilai fenomenal, yaitu Garuda Wisnu Kencana (GWK), patung yang menjadi landmark ikonik dan objek wisata terkenal di Bali. Patung'.

Raih Habibie Prize 2021, Nyoman Nuarta Sebut Hanya Bisa Mematung

Media online: www.msn.com

Seniman patung Nyoman Nuarta dianugerahi penghargaan Habibie Prize 2021 dari Bidang Ilmu Kebudayaan. Pria kelahiran Tabanan, Bali, 70 tahun yang lalu, itu menjadi satu dari empat pemenang penghargaan yang di antaranya mendapatkan uang senilai US\$ 25 ribu atau setara Rp 365 juta itu.

Habibie Prize, sebelumnya bernama Habibie Award, merupakan salah satu upaya untuk melanjutkan harapan dan cita-cita Bacharuddin Jusuf Habibie membangun SDM Indonesia unggul dan berdaya saing. Presiden RI ketiga yang dijuluki Bapak Teknologi itu lalu menginisiasi penghargaan untuk memberikan semangat kepada mereka yang mampu berinovasi untuk membangun bangsa.

Nyoman memiliki salah satu karya yang dinilai fenomenal, yaitu Garuda Wisnu Kencana (GWK), patung yang menjadi landmark ikonik dan objek wisata terkenal di Bali. Patung berwujud Dewa Wisnu—Dewa Pemelihara dalam

Agama Hindu—yang mengendarai burung garuda itu menjulang tinggi di dalam Taman Budaya Garuda Wisnu Kencana.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



4 Tokoh Terima Penghargaan Habiebie Prize 2021 Atas Jasanya di Bidang Iptek

Media online: www.headtopics.com

BRIN berharap, penerima Habiebie Prize tahun 2021 dapat terus produktif menghasilkan karya-karya dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Kepala BRIN Laksana Tri Handoko menyatakan, penganugerahan Habiebie prize tahun 2021 ini terdapat lima kategori bidang iptek dan inovasi yang diperebutkan. Yakni ilmu dasar; ilmu kedokteran dan bioteknologi; ilmu rekayasa; ilmu ekonomi, sosial, politik, dan hukum; serta ilmu filsafat, agama, dan kebudayaan.

Dia mengharapkan, penerima Habiebie Prize 2021 dapat terus produktif menghasilkan karya-karya dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Hal tersebut untuk mendorong kemajuan dan kesejahteraan bangsa Indonesia."Semoga penerima Habiebie Prize, sebagai putra putri bangsa terbaik dalam bidang iptek dapat menjadi inspirasi dan pemimpin bangsa Indonesia dalam kemajuan iptek di tengah perkembangan global," jelas dia.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

TEMPO78 INDONESIA
MEDIABROKER

HOME NASIONAL BISNIS METRO SURYA BOLA CANTIK TEKNO OTOMOTIF FOTO VIDEO RAMADAN

70% 3.1 1.7 1.5 1.4 1.3 1.2 1.1 1.0 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1

Meet Hyundai c
on November 18, 2021 at 10:12 AM
17 December 2021

HOME > TEKNO >

Raih Habibie Prize 2021, Nyoman Nuarta Sebut Hanya Bisa Mematung

Reporter: Moh Khary Affandi
Editor: Zuhairah Warung
Kamis, 18 November 2021 08:12 WIB

0 KOMENTAR



Visuals of Pacific Islander artist Nyoman Nuarta's Garuda Wisnu Kencana (GWK) monument in Bali, Indonesia. Photo: AFP/Anadolu Agency

Raih Habibie Prize 2021, Nyoman Nuarta Sebut Hanya Bisa Mematung Media online: www.tekno.tempo.co

Seniman patung Nyoman Nuarta dianugerahi penghargaan Habibie Prize 2021 dari Bidang Ilmu Kebudayaan. Pria kelahiran Tabanan, Bali, 70 tahun yang lalu, itu menjadi satu dari empat pemenang penghargaan yang di antaranya mendapatkan uang senilai US\$ 25 ribu atau setara Rp 365 juta itu.

Habibie Prize, sebelumnya bernama Habibie Award, merupakan salah satu upaya untuk melanjutkan harapan dan cita-cita Bacharuddin Jusuf Habibie membangun SDM Indonesia unggul dan berdaya saing. Presiden RI ketiga yang dijuluki Bapak Teknologi itu lalu menginisiasi penghargaan untuk memberikan semangat kepada mereka yang mampu berinovasi untuk membangun bangsa.

Nyoman memiliki salah satu karya yang dinilai fenomenal, yaitu Garuda Wisnu Kencana (GWK), patung yang menjadi lanskap ikonik dan objek wisata terkenal di Bali. Patung berwujud Dewa Wisnu—Dewa Pemelihara dalam Agama Hindu—yang mengendarai burung garuda itu menjulang tinggi di dalam Taman Budaya Garuda Wisnu Kencana.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



Inilah 4 Penerima Habibie Prize Tahun 2021

Media online: www.kurio.id

Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) dan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) menganugerahkan Habibie Prize 2021 kepada empat orang, Rabu (17/11/2021).

Keempat penerima penghargaan itu: Bidang Ilmu Dasar yaitu Muhammad Hanafi, Bidang Kedokteran Nicolaas C Budhiparama, Bidang Ilmu Rekayasa Subagyo, dan Bidang Ilmu Kebudayaan yakni Nyoman Nuarta.

“Habibie Prize merupakan penghargaan yang diberikan kepada perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi di bidang iptek dengan kriteria yang sangat tinggi, serta mampu menghasilkan temuan-temuan baru di bidangnya untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia,” ujar Kepala BRIN Laksana Tri Handoko, Rabu (17/11/2021).

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

Empat Ilmuwan Indonesia Bisa Habibie Prize 2021

Media online: www.siapgrak.com

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bekerja sama dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM



Iptek) menganugerahkan Habibie Prize 2021 kepada empat ilmuwan Indonesia.

"Semoga penerima Habibie Prize, sebagai putra putri bangsa terbaik dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek), dapat menjadi inspirasi dan pemimpin bangsa Indonesia dalam kemajuan iptek di tengah perkembangan global," kata Kepala BRIN Laksana Tri Handoko dalam acara "Penganugerahan Habibie Prize" dalam jaringan di Jakarta, Rabu.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



4 Ilmuwan Raih Penghargaan Habibie Prize 2021 |

Media online: www.validnews.com

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bersama Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) menggelar penganugerahan Habibie Prize. Tahun ini, Habibie Prize diberikan kepada empat ilmuwan dari empat kelompok bidang ilmu.

"Saya mengucapkan selamat kepada penerima Habibie Prize tahun 2021 semoga karya-karya dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi dapat terus dihasilkan di masa mendatang," kata Kepala BRIN, Laksana Tri Handoko, di acara Habibie Prize 2021, Rabu (17/11).

[\(Baca Selengkap\)](#)



Nyoman Nuarta dan Prof. Subagjo Menerima Penghargaan Habibie Prize 2021

Media online: www.fokus.satu.id

Guru Besar Fakultas Teknologi Industri (FTI), Institut Teknologi Bandung, Prof. Dr. Ir. Subagjo, DEA mendapat penghargaan Habibie Prize tahun 2021 untuk kategori ilmu rekayasa, Rabu (17/11/2021). Ia merupakan lulusan **ITB** tahun 1975, dan melanjutkan studi sampai S3 di Universite de Poitier, Prancis tahun 1981. Beliau merupakan peneliti di Kelompok Keahlian Teknologi Reaksi Kimia dan Katalis.

Selain Prof. Subagjo, terdapat tiga orang lainnya yang menerima Habibie Prize tahun 2021, yaitu kategori A Bidang Ilmu Dasar diberikan kepada Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN, Prof. Dr. Muhammad Hanafi MSc.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



Empat Ilmuwan Terima Habibie Prize 2021

Media online: www.fokusbanyumas.id

Dalam rangka melanjutkan harapan dan cita-cita BJ Habibie dalam membangun sumber daya manusia (SDM) Indonesia yang unggul dan berdaya saing, Habibie Prize Tahun 2021 dilaksanakan. Di tahun ini, terdapat empat orang ilmuwan yang dianugerahi Habibie Prize yang berasal dari empat kategori bidang ilmu yang berbeda.

Pelaksanaan Habibie Prize merupakan salah satu upaya untuk melanjutkan harapan dan cita-cita Habibie membangun SDM Indonesia yang unggul dan berdaya saing. Dia menilai, semua itu sejalan dengan visi kenegaraan Presiden Joko Widodo dalam hal pengembangan SDM.

Para pemenang Anugerah Habibie Prize 2021, yakni: Kategori A Bidang Ilmu Dasar diberikan kepada Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN, Prof Dr Muhammad Hanafi MSc. Kategori B Bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi diberikan kepada Dosen Universitas Airlangga/Leiden University Medical Center, The Netherlands, Assoc. Prof dr Nicolaas C Budhiparama PhD SpOT(K) FICS.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)

PODIUMNEWS News Fakta Opini Pembahasan Ekonomi Kerja Ekstrem Infoteknologi Nasional Riset Politik Dunia

Indonesia

10 November 2021 10:10:50 WIB

Penganugerahan Habibie Prize 2021

Tanggal: 17 November 2021
PM: 00:00 - 00:00 WIB

LIVE ON

Facebook
Twitter
Instagram

BRIN
Presiden Jokowi dan Wakil Presiden Ma'ruf Amin
Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Airlangga Hartono
Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nurgiano Pringgono

JAKARTA, PODIUMNEWS.com - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bekerjasama dengan

1. Sempat Sarungin STI Inerwa akan Berprestasi pada Angkor Wat dan Garuda
2. Gubernur Aceh Menghadirkan 1000 Siswa Aceh di Sekolah Dasar dan Menengah
3. Kepala BRIN Penghargaan KIPBB 2021-2022 dan Seleksi
4. Laporan: 741 Pabrik Sederajat Berprestasi
5. 70 orang Warga Warga Indonesia di Era Sundalet 4.2
6. Penghargaan dan Menunjukkan 1000-an Pabrik dan Industri
7. UNHCR-AMSD, Belajar Puncak Koneksi 1000-an Pabrik dan Industri

Habibie Prize 2021, Apresiasi untuk Ilmuwan Indonesia Media www.podiumnews.com online:

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bekerjasama dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) kembali menggelar penganugerahan *Habibie Prize 2021*. Penganugerahan *Habibie Prize* Tahun ini akan dilangsungkan pada Tanggal 17/11/2021 secara daring dan akan dihadiri oleh Presiden Republik Indonesia, Joko Widodo.

Habibie Prize merupakan penghargaan yang diberikan kepada perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi dibidang IPTEK dengan kriteria yang sangat tinggi, serta mampu

menghasilkan temuan-temuan baru dibidangnya untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



Inilah Empat Ilmuwan Peraih Habibie Prize 2021

Media online: www.abchannel.id

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bekerjasama dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) menggelar penganugerahan Habibie Prize 2021. Penganugerahan Habibie Prize Tahun ini dilangsungkan pada Tanggal 17 November 2021 pukul 10.00 WIB secara daring dan disiarkan di kanal YouTube BRIN Indonesia.

Dilansir abchannel dari kanal YouTube BRIN Indonesia, Penghargaan Habibie Prize telah diberikan kepada 17 ilmuwan, sebagai wujud apresiasi kepada tokoh yang telah berjasa dalam kehidupan intelektual dan karya luar biasanya yang disumbangkan kepada bangsa.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



Nyoman Nuarta Diumumkan di Antara Pemenang Habibie Prize 2021

www.inh.co.id



Pengumuman pemenang Penghargaan Habibie Prize 2021. (Klik gambar untuk memperbesar dan melihat galeri foto)

4 October 2021, 17 November 2021 07:00 WIB

TEMPO.CO, Jakarta - Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan Teknologi (SDM-Iptek) dan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) mengumumkan empat orang pemenang Habibie Prize 2021.

Pengumuman disampaikan oleh Ketua Pengurus Yayasan SDM-Iptek, Wardiman Djojonegoro, dalam acara virtual yang digelar pada Rabu, 17 November 2021.

Habibie Prize 2021 di Bidang Ilmu Dasar diberikan kepada Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN, Muhammad Hanafi; di Bidang Ilmu Keokteran dan Biomedis kepada Dosen di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Nicolaas C. Budhiparama; di Bidang Ilmu Rekayasa diberikan kepada Dosen Institut Teknologi Bandung (ITB), Soeharto; dan di Bidang Ilmu Kehidupan diberikan kepada Seniman, Nyoman Nuarta.



Nyoman Nuarta Diumumkan di Antara Pemenang Habibie Prize 2021

Media online: www.inharmonia.co

Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan Teknologi (SDM-Iptek) dan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) mengumumkan empat orang pemenang Habibie Prize 2021.

Pengumuman disampaikan oleh Ketua Pengurus Yayasan SDM-Iptek, Wardiman Djojonegoro, dalam acara virtual yang digelar pada Rabu, 17 November 2021.

Habibie Prize 2021 di Bidang Ilmu Dasar diberikan kepada Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN, Muhammad Hanafi; di Bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi diberikan ke Dosen Universitas Airlangga, Nicolaas C. Budhiparama; di Bidang Ilmu Rekayasa diberikan kepada Dosen Institut Teknologi Bandung (ITB), Soeharto; dan di Bidang Ilmu Kehidupan diberikan kepada Seniman, Nyoman Nuarta.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



Habibie Prize untuk yang Unggul di Bidang Iptek. Apa Syaratnya?

Media online: www.indowork.id

Habibie Prize diberikan kepada perseorangan yang mempunyai keunggulan tinggi di bidang Iptek dengan kriteria yang sangat tinggi dan menghasilkan temuan baru untuk kemajuan bangsa dan rakyat Indonesia. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bekerjasama dengan Yayasan

Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) kembali menggelar penganugerahan Habibie Prize 2021. Penganugerahan Habibie Prize Tahun ini akan dilangsungkan pada Tanggal 17 November 2021 secara daring dan akan dihadiri oleh Presiden Republik Indonesia, Joko Widodo.

[\(Baca Selengkapnya\)](#)



4 Tokoh Terima Penghargaan Habibie Prize 2021 Atas Jasanya di Bidang Iptek

27 November 2021 · Baca 1 menit

Liputan.com, Jakarta - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bersama Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) kembali menggelar penganugerahan Habibie Prize 2021.

Kepala BRIN Laksana Tri Handoko menyatakan, penganugerahan Habibie prize tahun 2021 ini terdapat lima kategori bidang iptek dan inovasi yang dipertandingkan. Yakni ilmu dasar; ilmu kedokteran dan bioteknologi; ilmu rekayasa; ilmu ekonomi, sosial, politik, dan hukum; serta ilmu filsafat, agama, dan kebudayaan.

*Tahun ini terdapat total 90 kandidat dari kelima bidang ilmu tersebut, yang kemudian

Jutaan Produk dari Ribuan Brand

Cek Sekarang

POPULER

Perini Teratas Top 5 Indonesia Menurut Data U. Brandes Call Peringatan

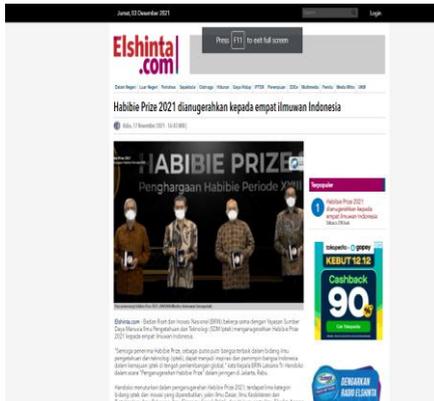
4 Tokoh Terima Penghargaan Habibie Prize

Media online: www.id.berita.yahoo.com

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bersama Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) kembali menggelar penganugerahan [Habibie Prize 2021](#).

Kepala [BRIN](#) Laksana Tri Handoko menyatakan, penganugerahan Habibie prize tahun 2021 ini terdapat lima kategori bidang iptek dan inovasi yang dipertandingkan. Yakni ilmu dasar; ilmu kedokteran dan bioteknologi; ilmu rekayasa; ilmu ekonomi, sosial, politik, dan hukum; serta ilmu filsafat, agama, dan kebudayaan.

[\(Baca selengkapnya\)](#)



Habibie Prize 2021 dianugerahkan kepada empat ilmuwan Indonesia

Media online: www.elshinta.com

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) bekerja sama dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek) menganugerahkan Habibie Prize 2021 kepada empat ilmuwan Indonesia.

"Semoga penerima Habibie Prize, sebagai putra putri bangsa terbaik dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek), dapat menjadi inspirasi dan pemimpin bangsa Indonesia dalam kemajuan iptek di tengah perkembangan global," kata Kepala BRIN Laksana Tri Handoko dalam acara "Penganugerahan Habibie Prize" dalam jaringan di Jakarta, Rabu.

Handoko menuturkan dalam penganugerahan Habibie Prize 2021, terdapat lima kategori bidang iptek dan inovasi yang diperebutkan, yakni Ilmu Dasar, Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi, Ilmu Rekayasa, Ilmu Ekonomi, Sosial, Politik, dan Hukum, serta Ilmu Filsafat, Agama dan Kebudayaan.

[\(Baca selengkapnya\)](#)



Empat Ilmuwan Terima Habibie Prize 2021

Media online: www.minanews.net

Empat orang ilmuwan dari empat kategori bidang ilmu yang berbeda pada Rabu (17/11) dianugerahi Habibie Prize 2021 yang digelar oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) berkolaborasi dengan Yayasan Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (SDM Iptek).

Para pemenang Anugerah Habibie Prize 2021 yaitu, Kategori A Bidang Ilmu Dasar diberikan kepada Peneliti Pusat Riset Kimia BRIN, Prof Dr Muhammad Hanafi MSc. Kategori B Bidang Ilmu Kedokteran dan Bioteknologi diberikan kepada Dosen Universitas Airlangga/Leiden University Medical Center, The Netherlands, Assoc. Prof dr Nicolaas C Budhiparama PhD SpOT(K) FICS.

Kategori C Bidang Ilmu Rekayasa diberikan kepada Dosen Institut Teknologi Bandung, Prof Dr Ir Subagjo DEA. Kategori D Bidang Ilmu Filsafat, Agama, dan Kebudayaan diberikan kepada Seniman, Dr (HC) Nyoman Nuarta.

Penghargaan Habibie Prize 2021 diserahkan Handoko bersama Ketua Yayasan SDM Iptek Wardiman Djojonegoro, dan perwakilan keluarga B.J. Habibie, Ilham Habibie. Masing-masing pemenang mendapatkan medali, sertifikat, dan uang sebesar USD 25.000.

[\(Baca selengkapnya\)](#)

PENGANUGERAHAN

HABIBIE PRIZE

Penghargaan Habibie
Periode XXIII Tahun 2021



Diterbitkan oleh:
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung BJ 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: lipress.lipi.go.id

DOI: 10.14203/press.468

