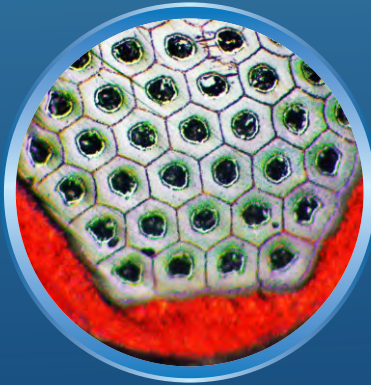




**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
BIDANG TEKNIK MATERIAL**

**PENGEMBANGAN MATERIAL  
SUPERKONDUKTOR DAN BIOKOMPATIBEL  
UNTUK MENINGKATKAN KEMANDIRIAN  
ALAT KESEHATAN MRI DAN IMPLAN TULANG  
DI INDONESIA**



**OLEH:  
ANDIKA WIDYA PRAMONO**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA  
JAKARTA, 14 MEI 2020**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PENGEMBANGAN MATERIAL  
SUPERKONDUKTOR DAN  
BIOKOMPATIBEL UNTUK MENINGKATKAN  
KEMANDIRIAN ALAT KESEHATAN MRI  
DAN IMPLAN TULANG DI INDONESIA

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*

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
BIDANG TEKNIK MATERIAL**

**PENGEMBANGAN MATERIAL  
SUPERKONDUKTOR DAN BOKOMPATIBEL  
UNTUK MENINGKATKAN KEMANDIRIAN ALAT  
KESEHATAN MRI DAN IMPLAN TULANG  
DI INDONESIA**

**OLEH:**

**ANDIKA WIDYA PRAMONO**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA  
JAKARTA, 14 MEI 2020**

© 2020 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)  
Pusat Penelitian Metalurgi dan Material

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pengembangan Material Superkonduktor dan Biokompatibel untuk Meningkatkan Kemandirian Alat Kesehatan MRI dan Implan Tulang di Indonesia/Andika Widya Pramono. Jakarta: LIPI Press, 2020.

xi + 70 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-496-129-9 (cetak)  
978-602-496-130-5 (e-book)



1. Superkonduktor
2. Implan tulang
3. Alat kesehatan

621.35

*Copy editor* : Sonny Heru Kusuma  
*Proofreader* : Martinus Helmiawan dan Noviasuti Putri Indrasari  
*Penata Isi* : Rahma Hilma Taslima  
*Desainer Sampul* : D.E.I.R. Mahelingga

*Cetakan* : Mei 2020



Diterbitkan oleh:  
LIPI Press, anggota Ikapi  
Gedung PDDI LIPI, Lantai 6  
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710  
Telp.: (021) 573 3465  
*e-mail*: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)  
*website*: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id)  
 LIPI Press  
 @lipi\_press

## BIODATA RINGKAS



**Andika Widya Pramono**, lahir di Jakarta pada 13 Maret 1970, adalah anak ketiga dari Bapak Zainal Abidin Haris, S.E. dan Ibu Umi Rusminah. Menikah dengan Ir. Dian Fatmिता Sandra Setiawaty Andries dan dikaruniai dua anak, yaitu Andrew Filbert Dary Pramono, S.T. dan Andrien Varian Hilmy Pramono.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 43/M Tahun 2019 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai tanggal 24 Juli 2019.

Berdasarkan Surat Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Nomor 95/A/2020 tanggal 15 April 2020 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Kebon Baru 05 Pagi, Gudang Peluru-Tebet, Jakarta Selatan, pada tahun 1982; Sekolah Menengah Pertama Negeri 3, Manggarai-Tebet, Jakarta Selatan, pada tahun 1985; dan Sekolah Menengah Atas Negeri 8, Bukit Duri-Tebet, Jakarta Selatan pada tahun 1988. Memperoleh gelar *Bachelor of Science* dari Wayne State University, Detroit, Amerika Serikat, pada tahun 1992; gelar *Master of Science* dari Wayne State University, Detroit, Amerika Serikat, pada tahun 1993, dan gelar *Doktor der Ingenieurwissenschaften* atau Dr.-Ing. dari RWTH Aachen University, Jerman, pada tahun 2000.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain *LPI-JSPS Research Training on*

*Aluminum-Titanium Intermetallics* di Kyoto University, Jepang (1995); *Research Training and Collaboration on Biocomposite Materials* di Max Planck Institute for Iron Research di Düsseldorf, Jerman (2005); *Computational Materials Design (CMD) Workshop* di Osaka University, Jepang (2011); dan *Research Training and Collaboration on Biodegradable Implant Materials of Magnesium Alloy* di RWTH Aachen University, Jerman (2018).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Bidang Metalurgi Fisik dan Manufaktur di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI (2006–2008), Kepala Bidang Konservasi Bahan di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI (2008–2010), serta Kepala Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI (2010–2019).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Asisten Peneliti Muda Golongan III/b pada tahun 1996, Peneliti Ahli Muda Golongan III/c pada tahun 2005, Peneliti Ahli Madya Golongan III/d pada tahun 2005, Peneliti Ahli Madya Golongan III/d pada tahun 2009, Peneliti Ahli Madya Golongan IV/a pada tahun 2011, Peneliti Ahli Madya Golongan IV/c pada tahun 2014, dan Peneliti Ahli Utama Golongan IV/d pada tahun 2019.

Menghasilkan 55 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, prosiding, dan paten. Sebanyak 26 KTI ditulis dalam bahasa Inggris dan 29 KTI dalam bahasa Indonesia.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti pada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, pembimbing skripsi S1 pada Institut Teknologi PLN, Jakarta; pembimbing tesis S2 pada Universitas Indonesia dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember,

Surabaya; pembimbing disertasi S3 pada Universitas Indonesia; serta penguji disertasi S3 pada Institut Pertanian Bogor.

Aktif dalam organisasi ilmiah, yaitu sebagai Dewan Pakar Masyarakat Biomaterial Indonesia (2013–sekarang), anggota Himpunan Peneliti Indonesia (2013–sekarang), serta anggota Materials Research Society–Indonesia (2017–sekarang).

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya X Tahun (1999), Satyalancana Karya Satya XX Tahun (2009), dan Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (2019) dari Presiden Republik Indonesia.



Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS .....	v
PRAKATA PENGUKUHAN.....	xi
I PENDAHULUAN .....	1
II MATERIAL SUPERKONDUKTOR DAN IMPLAN TULANG.....	3
2.1 Perkembangan Material Superkonduktor .....	3
2.2 Perkembangan Material Implan Tulang .....	7
III PENGEMBANGAN MATERIAL SUPERKONDUKTOR DAN BIOKOMPATIBEL UNTUK ALAT KESEHATAN.....	10
3.1 Superkonduktor Suhu Rendah .....	10
3.2 Superkonduktor Suhu Tinggi .....	14
3.3 Material Biokompatibel untuk Implan Tulang.....	15
IV APLIKASI MATERIAL SUPERKONDUKTOR DAN BIOKOMPATIBEL UNTUK KEMANDIRIAN ALAT KESEHATAN DI INDONESIA.....	19
4.1 Material Superkonduktor untuk Alat Kesehatan MRI.....	19
4.2 Material Biokompatibel untuk Alat Kesehatan Implan Tulang .....	20
V KESIMPULAN .....	23
VI PENUTUP .....	25
UCAPAN TERIMA KASIH .....	26
DAFTAR PUSTAKA.....	29
LAMPIRAN .....	41
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	46
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	54
DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....	55

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## PRAKATA PENGUKUHAN

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.*

*Assaalamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.*

Salam sejahtera untuk kita semua.

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

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah Pengukuhan Profesor Riset di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“PENGEMBANGAN MATERIAL SUPERKONDUKTOR  
DAN BIOKOMPATIBEL UNTUK MENINGKATKAN  
KEMANDIRIAN ALAT KESEHATAN MRI DAN IMPLAN  
TULANG DI INDONESIA”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## I. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2010 mencapai 237.641.326 jiwa<sup>1</sup> serta 265.015.300 jiwa pada tahun 2018 dan 271.108.754 jiwa pada tahun 2019<sup>2</sup>, sehingga menempatkan Indonesia pada urutan ke-4 dunia untuk negara dengan populasi terbesar<sup>2</sup>. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), usia harapan hidup penduduk Indonesia meningkat dari kisaran 66 tahun pada periode 1995–2000 menjadi 71,2 tahun pada tahun 2018<sup>3</sup>. Dengan meningkatnya jumlah penduduk serta usia harapan hidup manusia Indonesia beserta kerentanan yang tinggi terhadap penyakit tropis menular/tidak menular dan musibah, layanan kesehatan kepada masyarakat perlu diperkuat dengan mempersiapkan fasilitas layanan kesehatan yang prima. Salah satu upaya yang perlu dilakukan untuk meningkatkan layanan kesehatan prima adalah peningkatan kuantitas, kualitas, dan ketersediaan alat kesehatan (alkes). Ketersediaan dan aksesibilitas alat kesehatan sangat erat dengan kemampuan pemasok atau produsen alat kesehatan dalam negeri untuk dapat memenuhi kebutuhan fasilitas layanan kesehatan nasional. Berdasarkan data izin edar yang diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan hingga September 2019, baru 8,6% atau 8.856 izin edar yang dikeluarkan Kemenkes untuk alat kesehatan dalam negeri, sedangkan 91,4% atau 94.660 izin masih untuk alat kesehatan impor<sup>4</sup>. Kondisi ini terjadi akibat ketertinggalan Indonesia dalam aspek teknologi serta keterbatasan bahan baku dalam negeri yang belum memenuhi standar mutu medis.

Alat kesehatan *magnetic resonance imaging* (MRI) digunakan oleh dokter untuk memeriksa dan menghasilkan citra organ, jaringan, dan sistem rangka pasien dengan resolusi tinggi, dan pada akhirnya mendiagnosis berbagai masalah seputar kese-

hatan pasien. Komponen kunci dari alat MRI adalah magnet superkonduktor beserta sistem pendinginannya (*cryo-cooling system*). Alat MRI di Indonesia sepenuhnya masih impor dan belum ada yang memproduksi. Mahalnya alat MRI menjadikan rumah sakit membebankan tarif tinggi bagi pasien atau BPJS Kesehatan dalam diagnosis menggunakan alat tersebut. Sementara itu, implan tulang merupakan alat kesehatan yang didesain dan dibuat untuk menggantikan struktur serta fungsi bagian tulang pasien yang rusak, patah, ataupun mengalami degenerasi fungsi, baik akibat penyakit, penuaan, maupun trauma. Implan tulang ada yang didesain dan dibuat untuk trauma patah tulang dan bersifat sementara di dalam tubuh, ada juga yang untuk menggantikan fungsi vital bagian tulang yang rusak dan bersifat jangka panjang di dalam tubuh. Implan tulang termasuk ke dalam 91,4% izin edar Kemenkes untuk alkes yang diimpor.

Oleh sebab itu, riset dan pengembangan material untuk aplikasi MRI dan implan tulang perlu dilakukan di Indonesia dalam rangka meningkatkan penguasaan teknologi manufaktur kedua alkes tersebut secara bertahap hingga menyeluruh. Dengan penguasaan teknologi tersebut diharapkan muncul berbagai inovasi yang dapat meningkatkan daya saing industri manufaktur komponen dan alkes dalam negeri serta mengurangi ketergantungan terhadap impor.

Naskah orasi profesor riset ini memaparkan benang merah perjalanan riset dan pengembangan material superkonduktor dan biokompatibel di LIPI dalam menjawab tantangan ketersediaan dan keterjangkauan alat kesehatan MRI dan implan tulang dalam negeri, yang meliputi pengembangan material dan teknologi proses beserta perspektif inovasi ke depannya.

## II. MATERIAL SUPERKONDUKTOR DAN IMPLAN TULANG

### 2.1 Perkembangan Material Superkonduktor

Fenomena superkonduktivitas pertama kali diamati pada tahun 1911 di Laboratorium Heike Kamerlingh Onnes, Universitas Leiden–Belanda, ketika beberapa jenis material tiba-tiba kehilangan hambatan listrik saat didinginkan pada suhu yang sangat rendah<sup>5</sup>. Fenomena tersebut menjadi kuriositas sampai tahun 1955, ketika G. B. Yntema dari Universitas Illinois, Chicago, USA, berhasil membuat magnet superkonduktor pertama di dunia, di mana pada saat itu sifat-sifat magnet masih jauh dari performa magnet superkonduktor yang ada saat ini<sup>6</sup>. Kemajuan riset dan pengembangan superkonduktor setelah itu sempat melambat akibat permasalahan teknis penyediaan sistem pendinginan suhu ekstrem rendah dan minimnya pengetahuan tentang pembuatan kawat yang stabil dari bahan superkonduktor.

Bahan-bahan superkonduktor awal, seperti timbal (Pb), indium (In), dan merkuri (Hg), dikategorikan sebagai superkonduktor tipe I, di mana medan magnet tidak dapat menembusi materialnya<sup>7</sup>. Superkonduktor tipe I, yang didominasi oleh logam-logam murni, tidak layak untuk aplikasi kawat, kumparan, atau kabel. Superkonduktor yang layak difabrikasi menjadi kawat, kumparan, dan kabel adalah superkonduktor tipe II, yang umumnya terbuat dari paduan logam, intermetalik, dan keramik<sup>7</sup>. Pada superkonduktor tipe II, medan magnet dapat menembusi material. Contoh superkonduktor tipe II yang populer adalah niobium–titanium (NbTi) dan niobium–timah (Nb<sub>3</sub>Sn).

Berdasarkan patokan suhu transisi ( $T_c$ ), material superkonduktor terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu superkonduk-



tor suhu rendah (*low temperature superconductors*, LTS) dengan  $T_c$  di bawah 77 K ( $-196^\circ\text{C}$ ), yang merupakan titik didih (*boiling point*) dari nitrogen cair, dan superkonduktor suhu tinggi (*high temperature superconductors*, HTS) dengan  $T_c$  di atas 77 K ( $-196^\circ\text{C}$ )<sup>8,9</sup>.

Alat kesehatan MRI banyak menggunakan LTS NbTi dan  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  karena arus listrik dan medan magnet keduanya yang sangat stabil. Aplikasi NbTi dan  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  pada peralatan MRI adalah dalam bentuk kumparan magnet superkonduktor. Aplikasi populer berikutnya dari NbTi dan  $\text{Nb}_3\text{Sn}$ , yaitu pada alat *nuclear magnetic resonance* (NMR). NMR merupakan peralatan yang paling sensitif dan mungkin terpenting untuk menginvestigasi sistem makromolekul di bidang biologi dan kimia.

$\text{MgB}_2$  yang ditemukan pada awal dekade 2000-an merupakan superkonduktor suhu rendah (LTS) dengan  $T_c$  tertinggi saat itu, yaitu 39 K<sup>10</sup>. Pada tahun 2008, LTS berbasis besi (Fe) ditemukan oleh peneliti dari Tokyo Institute of Technology dengan  $T_c$  mencapai 55 K<sup>11</sup>. Untuk superkonduktor suhu tinggi (HTS), yang termasuk ke dalam golongan material kuprat dengan  $T_c$  tertinggi adalah  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ , yang ditemukan pada tahun 1993 dengan  $T_c$  mencapai 133–138 K pada tekanan 30 GPa<sup>12</sup>. Pada 2018–2019 *lanthanum decahydride* ( $\text{LaH}_{10}$ ) ditemukan memiliki  $T_c$  hingga 250 K atau  $-23^\circ\text{C}$  pada tekanan 170 GPa<sup>13,14</sup>.

Nilai pasar superkonduktor dunia mencapai US\$ 1,68 miliar pada tahun 2019 dan diproyeksi menjadi US\$ 1,73 miliar pada tahun 2024, dengan laju pertumbuhan majemuk tahunan (*compound annual growth rate*, CAGR) sebesar 0,6% untuk periode 2019–2024<sup>15</sup>. Nilai pasar sistem alat MRI dunia pada tahun 2017 adalah sebesar US\$ 7,17 miliar, dan diproyeksi menjadi US\$ 11,73 miliar pada tahun 2025, dengan CAGR pada kurun waktu tersebut sebesar 6,4%<sup>16</sup>. Beberapa aplikasi superkonduktor se-

lain untuk alat kesehatan adalah fisika energi tinggi (*high energy physics*), transportasi, energi terbarukan, migas, pertahanan-keamanan, dan *smart grid*.

Serangkaian riset bidang material maju telah dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) sejak tahun 1997 dalam pengembangan material superkonduktor untuk alat kesehatan MRI. Tahap pertama riset superkonduktor untuk alat MRI di LIPI dimulai dengan pengembangan kawat komposit *in-situ* tembaga–niobium (Cu-Nb). Kategori kegiatan yang dilakukan untuk sistem Cu-Nb ini meliputi investigasi sifat intrinsik<sup>17-21</sup>, observasi evolusi struktur mikro<sup>22-25</sup>, pengembangan desain kawat untuk aplikasi komponen ketenagalistrikan<sup>26</sup>, dan modeling komputer untuk memprediksi evolusi struktur mikro Cu-Nb<sup>27</sup>. Setelah kawat komposit Cu-Nb, tahapan selanjutnya adalah riset dan pengembangan material superkonduktor suhu rendah Cu-Nb<sub>3</sub>Sn melalui penambahan timah (Sn) ke dalam sistem Cu-Nb. Kategori kegiatan yang dilakukan untuk sistem Cu-Nb<sub>3</sub>Sn meliputi pengukuran sifat superkonduktivitas<sup>28,34</sup>, observasi sifat intrinsik<sup>29,30,37-39</sup>, pengembangan desain dan teknik manufaktur<sup>31,32,35</sup>, perlakuan panas<sup>33,36</sup> serta komputasi dan modeling<sup>40-43</sup>. Setelah Cu-Nb<sub>3</sub>Sn, pengembangan superkonduktor di LIPI berlanjut ke material MgB<sub>2</sub> yang masih masuk dalam kategori superkonduktor suhu rendah tetapi dengan suhu transisi (T<sub>c</sub>) yang lebih tinggi<sup>44-48</sup>. Agar alat MRI bisa menggunakan sistem pendinginan berbasis nitrogen cair yang lebih ekonomis, material superkonduktor perlu memiliki T<sub>c</sub> di atas titik didih nitrogen cair. Karena urgensi tersebut, riset dan pengembangan material superkonduktor di LIPI beranjak ke superkonduktor suhu tinggi. Adapun material superkonduktor suhu tinggi yang dikembangkan pertama kali adalah *bismuth strontium calcium copper oxide* atau BSC-

CO. Kategori kegiatan yang dilakukan untuk superkonduktor BSCCO meliputi: pengembangan teknik manufaktur<sup>49,52-54</sup> serta investigasi efek faktor eksternal (kelembapan, perlakuan panas, dan *doping*) terhadap sifat superkonduktivitas<sup>50,51,55</sup>. Baik superkonduktor suhu rendah maupun suhu tinggi, basis metode sintesis yang dipergunakan mencakup: *powder metallurgy*, *doping*, *solid-state reaction*, dan *metal forming*.

Selain di LIPI, riset dan pengembangan material superkonduktor BSCCO di Indonesia juga dilakukan oleh lembaga pemerintah non-kementerian (LPNK) lainnya<sup>56-58</sup>. Beberapa perguruan tinggi juga telah melakukan riset pada BSCCO<sup>59-61</sup> dan superkonduktor berbasis besi (*iron-based*)<sup>62-65</sup>. Penekanan litbang material superkonduktor di luar LIPI pada umumnya adalah pada sains dari material dan teknik sintesis serta pengaruhnya terhadap sifat superkonduktivitas. Adapun di LIPI, selain sains materi, teknik sintesis, dan superkonduktivitas, litbang material superkonduktor juga ditekankan pada teknik *metal forming* untuk menghasilkan prototipe kawat (*wires*) dan pita (*tapes*) untuk aplikasi komponen alat kesehatan, ketenagalistrikan serta sarana transportasi.

Perspektif iptek material superkonduktor dunia ke depannya menunjukkan dominasi berbagai upaya meningkatkan  $T_c$  ke suhu ruangan, diiringi kestabilannya pada aplikasi medan magnet tinggi. Hal ini didasari oleh kenyataan bahwa superkonduktivitas dengan  $T_c$  tertinggi, yaitu 250 K ( $-23^\circ\text{C}$ ), telah ditemukan secara komputasi dan empiris pada *lanthanum decahydride* ( $\text{LaH}_{10}$ ) serta prediksi  $T_c$  pada suhu ruangan dari *yttrium decahydride* ( $\text{YH}_{10}$ ) menggunakan *density functional theory* (DFT)<sup>13,14</sup>. Adapun aplikasi potensial ke depan dari superkonduktor dengan  $T_c$  tinggi mencakup alat kesehatan, energi terbarukan, *smart grid* efisiensi tinggi, kendaraan listrik, kendaraan *magnetic levitation*, dan *quantum computing*.

## 2.2 Perkembangan Material Implan Tulang

Penggunaan implan logam pada tubuh manusia telah dilakukan sejak abad ke-16. Awalnya yang ditransplantasikan adalah logam-logam murni, di antaranya emas, besi, perak, dan platinum, dengan permasalahan utama saat itu pada manusia adalah infeksi pasca-transplantasi<sup>66</sup>. Pemanfaatan pelat baja untuk implan dimulai pada tahun 1895 di Inggris, tetapi hasilnya menunjukkan korosi material di lingkungan fisiologis tubuh manusia<sup>67,68</sup>. Lambotte pada tahun 1909<sup>69</sup> serta Sherman pada tahun 1912<sup>70</sup> mengembangkan pelat baja untuk patah tulang dengan ketahanan korosi yang lebih baik, tetapi kemudian ditinggalkan karena kekuatannya yang rendah. Pada dekade 1920-an, baja tahan karat 316 L mulai dikembangkan dan dipergunakan sebagai implan tulang karena ketahanan korosinya yang lebih baik dari jenis implan sebelumnya dalam tubuh manusia<sup>71</sup>. Pada awal 1900-an paduan Co-Cr mulai dikembangkan, tetapi baru pada dekade 1930-an *vitallium* (Co-Cr yang ditambahkan molibdenum) dipergunakan untuk aplikasi implan gigi<sup>72</sup>. Pada 1940, implan dari logam Ti murni mulai dipergunakan karena sifat biokompatibilitasnya yang sangat baik<sup>73</sup>. Di beberapa dekade berikutnya, paduan Ti dikembangkan untuk ortopedi karena sifat mekaniknya yang lebih baik daripada logam Ti<sup>74,75</sup>. Dewasa ini paduan Co-Cr dan paduan Ti adalah material yang paling banyak dipergunakan untuk bedah ortopedi, sedangkan baja tahan karat 316 L dan paduan nikel-titanium dipergunakan pada situasi dan aplikasi prostetik khusus.

Penggunaan implan yang meningkat dalam beberapa tahun terakhir dipicu oleh banyaknya kejadian penyakit degeneratif di kalangan manusia usia lanjut di negara maju serta keinginan pasien untuk tetap bisa beraktivitas dan menikmati kualitas hidup<sup>76</sup>. Material implan tulang termasuk dalam kategori bioma-

terial, yaitu senyawa logam maupun non-logam yang didesain dan direkayasa untuk berinteraksi dengan tubuh manusia untuk keperluan medis dengan penekanan pada sifat *bio-inert*, *biocompatibility*, maupun *biodegradability* (3-bio) pada tubuh manusia. Biomaterial berbeda dengan material biologi. Material biologi merupakan material yang dihasilkan oleh sistem hayati yang aplikasinya belum tentu menekankan pada sifat 3-bio pada tubuh manusia. Contoh material biologi adalah: tulang, kayu, bambu, *exo-skeleton* dari arthropoda dan krustasea<sup>77,78</sup>, kitin–kitosan<sup>79,80</sup> serta berbagai jenis material organik dan biomassa lainnya.

Sifat *bio-inert* mensyaratkan interaksi minimum antara biomaterial dan jaringan sekitarnya ketika dimasukkan ke dalam tubuh manusia. *Stainless steel* 316 L, paduan kobal–krom (Co–Cr), dan paduan titanium (Ti) merupakan material *bio-inert* yang paling sering dipergunakan untuk implan patah tulang (*trauma*), re-modeling tulang, dan *angioplasty* dengan memperhatikan stabilitas jangka panjang mereka yang baik di lingkungan *in-vivo* serta sifat mekanik yang baik<sup>81</sup>. Biokompatibilitas mensyaratkan biomaterial untuk dapat beradaptasi, merespons, dan berkinerja dengan sistem biologis di mana bahan tersebut diletakkan tanpa efek samping yang membahayakan. Ketika fungsi material implan sebagai biomaterial berkurang seiring dengan meningkatnya regenerasi dan pemulihan jaringan di sekitar implan, sifat mampu luruh (*biodegradable*) dari material tersebut menjadi signifikan agar dapat terbuang secara alami dari tubuh manusia. Paduan magnesium (Mg), besi (Fe), dan seng (Zn) adalah paduan yang paling intensif diteliti dan dikembangkan untuk aplikasi ortopedi dan kardiovaskular karena mereka memiliki sifat mampu luruh (*biodegradable*).

Nilai pasar biomaterial dunia mencapai US\$ 94,1 miliar pada tahun 2012 dan US\$ 134,3 miliar pada tahun 2017<sup>82</sup>. Perusaha-

an-perusahaan terkemuka dunia bidang biomaterial ini meliputi Stryker Corporation (Amerika Serikat), Synthes (Amerika Serikat), Boston Scientific Corporation (Amerika Serikat), Biomet, Inc. (Amerika Serikat), Smith and Nephew (Inggris), Medtronic (Amerika Serikat), St. Jude Medical, Inc. (Amerika Serikat), dan Tornier N. V. (Belanda).

Penelitian material biokompatibel yang dilakukan di LIPI sejak 2005 meliputi implan tulang permanen berbasis paduan kobal–kromium (Co-Cr)<sup>83-86</sup>, paduan titanium (Ti)<sup>87-89</sup>, *carbon-based scaffold*<sup>90,91</sup>, dan paduan magnesium (Mg)<sup>88</sup>. Basis metode sintesis untuk pengembangan implan tulang ini mencakup *powder metallurgy*, peleburan dan pengecoran, *heat treatment*, *metal forming*, dan 3-dimensi *printing*.

Ke depannya, paduan Ti dengan biokompatibilitas yang lebih baik dari jenis yang ada sekarang meningkat penggunaannya untuk aplikasi implan tulang, yang mana efek *cyto-toxicity* bagi tubuh manusia telah jauh ditekan serta adanya kecocokan biomekanik, bentuk, dan ukuran implan dengan antropometri tulang pasien (*customized products*). Paduan Ti juga berpotensi dikembangkan dan dikomersialisasi di Indonesia untuk aplikasi klip aneurisma, yaitu klip yang digunakan pada bedah saraf otak. Selain paduan Ti, paduan Mg akan banyak dipakai secara global untuk aplikasi implan mampu luruh. Paduan Mg ini harus mampu bertahan di dalam tubuh pasien selama periode pemulihan, sampai akhirnya luruh dan terbuang secara perlahan lewat sistem ekskresi. Untuk menjawab tantangan Industri 4.0, implan tulang dapat ditingkatkan fiturnya dengan teknologi biometrik dan biosensor agar dapat secara cepat dan akurat memberikan informasi digital tentang spesifikasi teknis implan, sejarah pemasangan, kondisi kesehatan pasien secara *real-time*, dan identitas pasien.

### III. PENGEMBANGAN MATERIAL SUPERKONDUKTOR DAN BIOKOMPATIBEL UNTUK ALAT KESEHATAN

#### 3.1 Superkonduktor Suhu Rendah

Superkonduktor suhu rendah (LTS) adalah kelompok material dengan suhu transisi atau kritis di bawah 77 K. Material yang termasuk ke dalam kategori LTS ini adalah  $Nb_3Sn$  dan  $Nb_3Al$  dengan struktur kristal A15 serta NbTi dengan struktur kristal *body centered cubic* (bcc). Keunggulan dari superkonduktor LTS adalah kestabilan yang baik pada medan magnet tinggi.

##### 3.1.1 Komposit in-situ Cu-Nb

Penelitian material LTS di LIPI untuk *technical superconductors* diawali dengan *in-situ metal matrix composite* (MMC) tembaga–niobium (Cu-Nb)<sup>17,18</sup>. Di antara material *in-situ* MMC, Cu-Nb memiliki daya tarik tersendiri dari aspek saintifik dan teknis–komersial.

Investigasi tentang orientasi atau arah struktur kristal logam secara makro (makrotekstur) dari coran (*as-cast*) dan kawat MMC Cu-18%Nb menunjukkan orientasi yang berbeda antara fasa Cu dan fasa Nb sebagai konsekuensi dari sifat fisika logam Cu dan Nb, interdifusi atom serta tingkat deformasi kawat<sup>19-21</sup>. Ketika kawat Cu-18%Nb diberi perlakuan panas, orientasi tektur fasa Cu dan Nb tidak banyak mengalami perubahan.

Evolusi struktur mikro kawat Cu-18%Nb saat diberi perlakuan panas dicirikan dengan variasi perubahan morfologi filamen Nb di matriks Cu berbasis difusi atom Nb pada permukaan dan volume filamen, seperti terangkum pada Tabel 1 dan ditunjukkan contohnya pada Gambar 1<sup>22</sup>. Perubahan morfologi

filamen Nb dan difusi atom pada matriks Cu akibat perlakuan panas ini berdampak pada kekuatan dan kekerasan kawat Cu-18%Nb. Kekuatan dari kawat Cu-18%Nb, baik yang mengalami perlakuan panas maupun tidak, meningkat dengan deformasi kawat<sup>22,23</sup>. Kekerasan dari kawat Cu-18%Nb konstan sampai dengan deformasi kawat 99,31%, setelah itu meningkat. Kekerasan dari kawat Cu-18%Nb yang mengalami perlakuan panas lebih rendah daripada yang tidak dipanaskan<sup>23,24</sup>. Dinamika kekuatan dan kekerasan dari kawat komposit *in-situ* Cu-18%Nb tersebut berkaitan dengan perubahan ketebalan filamen dan jarak antarfilamen Nb di matriks Cu, serta pemulihan dan rekristalisasi dinamis pada fasa Cu<sup>25,26</sup>. Evolusi morfologi fasa Nb di matriks Cu akibat perlakuan panas juga telah dimodelkan dengan teknik komputasi berbasis persamaan Cahn-Hilliard<sup>27</sup> (Gambar 2) dan menunjukkan kesesuaian dengan hasil eksperimen pada Tabel 1 dan Gambar 1. Identifikasi dan rekapitulasi mekanisme evolusi fasa dari filamen Nb di matriks Cu (Tabel 1) serta permodelan berbasis persamaan Cahn-Hilliard tentang evolusi fasa dari Nb di matriks Cu (Gambar 2) merupakan kebaruan ilmiah yang dihasilkan dari riset dan pengembangan material komposit *in-situ* Cu-18%Nb di LIPI.

### 3.1.2 Superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn

Pengembangan kawat superkonduktor suhu rendah Cu-Nb<sub>3</sub>Sn di LIPI merupakan lanjutan dari riset kawat komposit *in-situ* Cu-18%Nb, yang dilatarbelakangi oleh proyek kerja sama riset dengan PT Timah (Persero) Tbk dan High Field Laboratory for Superconducting Materials (HFLSM)–Institute for Materials Research (IMR)–Tohoku University, Jepang. Hasil kolaborasi *tri-party* ini menghasilkan prototipe pertama kawat superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn dari LIPI, dengan 11 monofilamen di dalamnya seperti terlihat pada Gambar 3<sup>28</sup>. Kebaruan dari



desain dan prototipe monofilamen Cu-Nb<sub>3</sub>Sn di kolaborasi ini adalah implementasi metode *internal-tin* yang dimodifikasi, di mana silinder timah (Sn) yang berada di inti (*core*) langsung diselubungi dengan niobium (Nb) yang berfungsi tidak hanya sebagai *resource* untuk pembentukan senyawa superkonduktif Nb<sub>3</sub>Sn, tetapi juga penghalang terjadinya interdifusi antara Sn dan selubung luar Cu, seperti terlihat pada Gambar 4<sup>28</sup>. Gambar 5 menunjukkan desain umum monofilamen metode *internal-tin* yang biasa dipergunakan di industri kawat superkonduktor dunia. Selain modifikasi metode *internal-tin*, magnesium (Mg) juga ditambahkan ke Sn untuk meningkatkan rapat arus. Proses *metal forming* yang dilakukan untuk membentuk kawat Cu-Nb<sub>3</sub>Sn adalah kombinasi dari *cold rolling* dan *wire-drawing*, yang tidak umum dilakukan di industri kawat superkonduktor dunia.

Hasil pengujian sifat magnetik dan superkonduktivitas dari kawat Cu-Nb<sub>3</sub>Sn ini menunjukkan adanya keterkaitan antara suhu transisi (Tc) dan medan magnet kritis (Bc) seperti terlihat pada Gambar 6<sup>28</sup>, terlepas nilainya masih di bawah Tc–Bc dari kawat superkonduktor milik industri Furukawa, Jepang. Teridentifikasi dan terukurnya korelasi Tc–Bc ini menyimpulkan bahwa senyawa superkonduktif Nb<sub>3</sub>Sn terbentuk di antarmuka Nb dengan Sn. Pembentukan senyawa Nb<sub>3</sub>Sn ini juga disimpulkan dari *co-existence* Nb dan Sn di lokasi yang sama dengan pengamatan EPMA<sup>29</sup> serta dari hasil pengukuran tegangan dan arus listrik (V-I) yang melewati kawat superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn<sup>30</sup>.

Kebaruan tentang metode manufaktur superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn mencakup desain struktur nano-superkonduktor, melalui proses *wire-drawing* dan *filaments-stacking* secara berulang sebanyak enam siklus untuk menghasilkan multifilamen dengan ukuran penampang *near nano-size*<sup>31</sup>. Sintesis material Nb<sub>3</sub>Sn berbentuk *pellet* dilakukan dengan teknik *powder metallurgy*

(P/M)<sup>32</sup>. Kesuksesan teknik P/M ini dilanjutkan dengan teknik *powder-in-tube* (PIT), yakni serbuk Nb dan Sn dimasukkan ke dalam selubung (*sheath*) Cu beserta optimalisasi perlakuan panas dan pengukuran sifat superkonduktivitas<sup>33–36</sup>. Gambar 7 menunjukkan penampang kawat superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn multifilamen LIPI dengan metode PIT yang memiliki 37 monofilamen, hasil kolaborasi dengan PT Timah (Persero) Tbk., perusahaan Luvata Waterbury Inc., Amerika Serikat, dan High Field Laboratory for Superconducting Materials (HFLSM)–Institute for Materials Research (IMR)–Tohoku University, Jepang.

Observasi terhadap makrotekstur dari material Nb<sub>3</sub>Sn yang diproses dengan metode *powder metallurgy* (P/M) dilakukan bekerja sama dengan Institut für Metallkunde und Metallphysik–RWTH Aachen University, Jerman. Investigasi makrotekstur dari superkonduktor Nb<sub>3</sub>Sn, yang ditampilkan dalam bentuk *pole figures*<sup>37</sup> maupun *orientation distribution function* (ODF) di ruang Euler Cartesian, merupakan terobosan untuk memahami sifat mekanik Nb<sub>3</sub>Sn sebagai fungsi dari orientasi kristal logam Nb dan Sn<sup>38,39</sup>.

Upaya mengembangkan pemodelan atau simulasi komputer tentang pembentukan senyawa superkonduktif Nb<sub>3</sub>Sn telah dilakukan sejak tahun 2009<sup>40</sup>, termasuk studi tentang elastisitas pada paduan biner dan *density functional theory* pada material superkonduktor<sup>41,42</sup>. Pemodelan pembentukan senyawa superkonduktor Nb<sub>3</sub>Sn berbasis persamaan Cahn–Hilliard berhasil dilakukan, di mana hasil pemodelan selaras dengan hasil eksperimen<sup>43</sup>. Pengembangan pemodelan atau simulasi komputer berbasis persamaan Cahn–Hilliard pada Cu-Nb<sub>3</sub>Sn memberi ruang untuk memprediksi intensitas pembentukan Nb<sub>3</sub>Sn secara efektif dan efisien berbasis komposisi dan desain geometri.

### 3.1.3 Superkonduktor $MgB_2$

Riset dan pengembangan superkonduktor  $MgB_2$  di LIPI dimulai sejak tahun 2016 dengan rangkaian penemuan paten teknologi, baik itu aspek material maupun sistem pengukuran. Paten-paten tersebut mencakup: (1) Metode Pembuatan Superkonduktor  $MgB_2$  (Nomor Pendaftaran Paten: P00201604224)<sup>44</sup>, (2) Metode Peningkatan Suhu Transisi Nol pada Superkonduktor  $MgB_2$  (Nomor Pendaftaran Paten: P00201604886)<sup>45</sup>, dan (3) Sistem Pengukuran Rapat Arus di dalam Alat *Cryogenic* (Nomor Pendaftaran Paten: P00201704130)<sup>46</sup>. Pengaruh penambahan *dopant* SiC dan *carbon nanotubes* (CNT) pada kawat superkonduktor  $MgB_2$  juga diinvestigasi<sup>47,48</sup>. Penambahan SiC menurunkan kristalinitas dan  $T_c$  dari  $MgB_2$ , sedangkan penambahan CNT meningkatkan performa dan  $T_c$  dari  $MgB_2$ .

## 3.2 Superkonduktor Suhu Tinggi

### 3.2.1 Superkonduktor BPSCCO

Penelitian material superkonduktor suhu tinggi (HTS) di LIPI diawali dengan material golongan *cuprates*, yaitu *bismuth strontium calcium copper oxide* atau disingkat BSCCO dan dibaca “bisco”. BSCCO merupakan HTS pertama yang tidak mengandung logam tanah jarang. Penggunaan HTS untuk aplikasi alat kesehatan MRI masih terbatas atau belum seintensif LTS. Hal ini dikarenakan ketangguhan HTS pada aplikasi medan magnet tinggi, seperti pada alat MRI, belum sepenuhnya optimal. Pemikiran dan upaya terkait aplikasi BSCCO untuk MRI secara global masih dalam tahap awal. Riset dan pengembangan BSCCO di LIPI juga didorong oleh ketersediaan alat uji superkonduktivitas *Oxford Cryogenic Magnet* (Gambar 8). Fitur unggulan dari *cryogenic magnet* yang ada di LIPI ini adalah penggunaan media pendingin berupa he-

lium maupun nitrogen dalam bentuk gas (bukan cair), yang ketersediaannya di pasaran banyak dengan harga terjangkau. Sampai saat ini, keberadaan alat *cryogenic magnet* di LIPI ini masih yang pertama dan satu-satunya di Indonesia.

Pembuatan material BPSCCO di LIPI, yaitu BSCCO dengan tambahan timbal (Pb), dimulai dengan metode basah untuk menghasilkan prototipe superkonduktor berbentuk *pellet*<sup>49</sup>. Investigasi pengaruh kelembapan terhadap sifat superkonduktivitas dan kristalinitas dari BPSCCO juga dilakukan, dengan invensi meningkatnya  $T_c$  BPSCCO dengan aplikasi kelembapan (*humidity*)<sup>50</sup>.

Pengaruh suhu sinter pada material BPSCCO yang dimasukkan ke dalam tabung Ag dan dirol juga telah diinvestigasi<sup>51</sup>, yang menghasilkan paten tentang metode pembuatan kawat monofilamen perak superkonduktor (Nomor Pendaftaran Paten: P00201708372)<sup>52</sup>. Modifikasi proses *metal forming* dan perlakuan panas juga dilakukan pada material BPSCCO<sup>53</sup>, yang kemudian dibuat dalam bentuk pipih atau pita (*tapes*)<sup>54</sup>. Pengaruh penambahan *dopant* MgO, *carbon nanotubes* (CNT), dan  $TiO_2$  ke BPSCCO yang dikombinasi dengan sinter berulang (*recurrent sintering*) juga telah diobservasi<sup>55</sup>.

### 3.3 Material Biokompatibel untuk Implan Tulang

Riset dan pengembangan material biokompatibel untuk implan tulang di LIPI dimulai pada tahun 2005, melalui *joint* hibah riset antara LIPI dan Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) dengan topik riset *Material Development for Biomedical Devices*. Topik kolaborasi riset ini menjadi awal dilakukannya riset dan pengembangan material implan orthopedi di LIPI. Adapun institusi mitra di Jepang saat itu adalah Tohoku University Biomedical Engineering Research Organization (TUBERO).

### 3.3.1 Material Biokompatibel Co-Cr-Mo

Kolaborasi riset LIPI–JSPS tentang material biomedik dimulai dengan paduan logam kobal–kromium (Co-Cr) untuk aplikasi implan *arthroplasty*. Pemilihan paduan Co-Cr ini didasari oleh upaya menyubstitusi kandungan nikel (Ni), vanadium (V), dan aluminium (Al) pada implan tulang berbasis paduan logam yang bersifat *cyto-toxic* bagi tubuh manusia. Implan tulang berbasis *stainless steel* pada saat itu masih mengandalkan keberadaan Ni dan V untuk kekuatan dan ketahanan korosi. Selain itu, paduan Co-Cr banyak digunakan untuk aplikasi prostesis karena memiliki ketahanan korosi dan ketahanan abrasi yang baik.

Beberapa tantangan saintifik dalam pengembangan implan tulang berbasis paduan Co-Cr yang perlu dicari solusinya pada saat itu adalah: (1) masih adanya kebutuhan terhadap Ni yang bersifat *cyto-toxic* untuk meningkatkan keuletan paduan Co-Cr, (2) terjadinya porositas dan retak mikro pada coran Co-Cr serta (3) perlunya penyesuaian antara kekuatan dan *workability* paduan Co-Cr. Untuk menjawab tantangan tersebut, dilakukan penambahan Cr dan Mn yang tidak bersifat *cyto-toxic* ke dalam matriks Co<sup>83</sup>. Kebaruan ilmiah yang dihasilkan mencakup perlunya pemanasan awal paduan Co-Cr-Mo sebelum penempaan untuk menghindari terjadinya retak tempa serta penambahan Mn ke dalam paduan Co-Cr-Mo untuk memperlebar rentang suhu perlakuan panas<sup>83</sup>.

Sintesis paduan Co-Cr-Mo dengan metode *powder metallurgy* serta penambahan silikon (Si) juga dilakukan<sup>84</sup> untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi. Biokompatibilitas paduan Co-Cr-Mo (CCM) diverifikasi dengan uji ketahanan korosi dan toksisitas<sup>85</sup>. Kebutuhan implan *arthroplasty* yang masih impor serta gencarnya litbang material Co-Cr-Mo (CCM) melahirkan pemikiran tentang urgensi untuk mengembangkan material biokompatibel untuk aplikasi implan medik di Indonesia<sup>86</sup>.

### 3.3.2 Material Biokompatibel Paduan Titanium

Efek penambahan niobium (Nb) atau molibdenum (Mo) ke dalam paduan Ti-Al-V untuk menyubstitusi Al dan V yang bersifat *toxic* telah diinvestigasi<sup>87</sup>. Substitusi Al dan V dengan Nb dan Mo pada paduan Ti-Al-V ini menghasilkan *workability* paduan yang lebih baik, di mana retak tidak terjadi saat penempaan dan pengerolan<sup>87</sup>. Selain itu, juga dikembangkan paduan Ti-Mo-Nb dengan penambahan Sn untuk meningkatkan kekerasan sekaligus menurunkan modulus elastisitasnya sehingga lebih rendah dari paduan Ti-Al-V agar mengurangi beban pada tulang<sup>88</sup>. Lebih jauh, telah didesain implan *knee arthroplasty* yang disesuaikan dengan antropometri tulang orang Asia Timur<sup>89</sup>, dengan terobosan, antara lain optimasi distribusi tegangan dan *fitting* pada implan, konsumsi material yang lebih sedikit, serta desain yang mudah dialihkan ke mesin CNC untuk proses fabrikasi yang cepat dan *customized*.

### 3.3.3 Material Biokompatibel Lainnya

Berkolaborasi dengan Powder Metallurgy Institute (PMI)–National Academy of Sciences Belarus (NASB), LIPI juga mengembangkan material karbon untuk aplikasi *bio-scaffold*<sup>90,91</sup>. *Bio-scaffold* adalah material biokompatibel dan *bioresorbable* yang dapat dipergunakan untuk menyusun struktur 3-dimensi di daerah implan dengan jaringan di sekitarnya, dalam rangka mempercepat proses regenerasi dan pemulihan jaringan. Selain itu, LIPI juga berkolaborasi dengan RWTH Aachen University–Jerman dalam mengembangkan material implan mampu luruh (*biodegradable*) dari paduan magnesium (Mg) yang disintesis dengan metode *powder metallurgy*<sup>92</sup>.

### 3.3.4 Prioritas Riset Nasional (PRN)

Terdapat enam teknologi kunci pada prioritas riset nasional (PRN) implan tulang untuk periode 2020–2024, yang meliputi: (1) implan tulang punggung (*spine orthopedy*), (2) *trauma and adult reconstruction orthopedy*, (3) *hand and micro surgery*, (4) *oncology orthopedy*, (5) *sport orthopedy*, dan (6) *pediatric orthopedy*. Untuk menjalankan PRN implan tulang tersebut, Menteri Riset dan Teknologi/Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) melalui Peraturan Menteri No. 38 Tahun 2019 tanggal 18 Oktober 2019 telah menetapkan para pemain kunci riset dan pengembangan implan tulang periode 2020–2024, yaitu LIPI dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) sebagai koordinator dengan anggota konsorsium: Balitbang Kementerian Kesehatan, Badan Tenaga Nuklir Nasional (Batn), Balitbang Kementerian Perindustrian, Badan Standardisasi Nasional (BSN), perguruan tinggi, dan badan usaha.

## IV. APLIKASI MATERIAL SUPERKONDUKTOR DAN BIOKOMPATIBEL UNTUK KEMANDIRIAN ALAT KESEHATAN DI INDONESIA

### 4.1 Material Superkonduktor untuk Alat Kesehatan MRI

Performa dan harga alat MRI ditentukan oleh kuat medan magnet dari kumparan superkonduktor yang diukur dalam satuan T (tesla)<sup>93</sup>. Semakin tinggi kuat medan magnetnya, semakin baik resolusi citra yang dihasilkan, tetapi semakin mahal pula harga perangkat MRI-nya. Ada dua tipe alat MRI berbasis kuat medan magnet, yaitu MRI medan magnet rendah: 0,2 T–0,4 T<sup>94</sup>; dan MRI medan magnet tinggi: 1,5 T–7,0 T<sup>95</sup>. Kebanyakan MRI medan magnet rendah dibuat dengan desain terbuka atau semi-tertutup. Selain murah, MRI desain terbuka juga cocok bagi pasien yang memiliki klaustrofobia (rasa takut terhadap tempat sempit dan tertutup). Ketersediaan dan keterjangkauan MRI medan magnet rendah di puskesmas dan institusi layanan kesehatan di pelosok daerah akan bermanfaat bagi peningkatan kualitas layanan kesehatan bagi masyarakat ekonomi rendah dan sedang.

Langkah yang dapat dilakukan dalam pengembangan dan komersialisasi perangkat MRI buatan dalam negeri adalah fokus pada pengembangan dan komersialisasi MRI medan magnet rendah 0,2 T–0,4 T. Untuk pengembangan dan pembuatan prototipe MRI jenis ini, magnet superkonduktor bisa diimpor terlebih dulu untuk mendukung ketercapaian pembuatan prototipe. Inovasi pada tahap ini utamanya terjadi pada desain komponen selain magnet superkonduktor. Setelah itu, perlu dilakukan uji klinis dan uji keselamatan prototipe MRI medan magnet rendah. *Reverse engineering* magnet superkonduktor untuk MRI kemudian dapat dilakukan, dengan inovasi yang diharapkan terjadi



pada desain material kawat superkonduktor, proses manufaktur kawat superkonduktor serta desain magnet superkonduktor plus sistem *cryo-cooling*. Material superkonduktor yang cocok untuk diimplementasikan pertama kali di magnet superkonduktor untuk MRI dalam negeri ini adalah  $Nb_3Sn$ ,  $MgB_2$  atau BPSCCO.

Studi kelayakan dan kajian tekno-ekonomi komprehensif tentang pembuatan prototipe alat MRI medan magnet rendah dalam negeri ini kemudian dapat dilakukan. Insentif pajak dan insentif fiskal lainnya perlu diberikan bagi industri nasional yang bersedia dan mampu memproduksi kawat superkonduktor di dalam negeri ini secara berkesinambungan. Diperlukan juga adanya kebijakan dan regulasi yang mendukung ketersediaan dan penggunaan MRI medan magnet rendah buatan dalam negeri di puskesmas atau institusi layanan kesehatan di pelosok daerah.

#### **4.2 Material Biokompatibel untuk Alat Kesehatan Implan Tulang**

Material implan tulang permanen untuk *arthroplasty* yang banyak dipergunakan di pasaran adalah paduan Co-Cr-Mo (CCM) dan paduan  $Ti^{76}$ . Selain masih banyak diimpor, harga kedua jenis implan permanen ini lebih tinggi daripada implan temporer *stainless steel* untuk trauma atau patah tulang. Terlepas belum adanya industri hulu dalam negeri yang secara massal mampu memproses mineral Indonesia menjadi komoditas logam implan dengan kemurnian tinggi serta pasokan yang berkesinambungan, pembuatan implan *arthroplasty* dalam negeri tetap layak untuk dilakukan. Penggunaan bahan baku logam Co, Cr, Mo, dan Ti murni yang diimpor masih *economically feasible* bagi pengembangan implan *arthroplasty* dalam negeri, dengan catatan bahwa desain, proses teknologi, uji klinis serta standarisasi dilakukan di dalam negeri secara efektif dan efisien.

Langkah yang dapat dilakukan untuk pengembangan dan komersialisasi implan *arthroplasty* buatan dalam negeri adalah prioritas pada implan berbasis paduan Co-Cr-Mo (CCM) dan paduan Ti. Pengembangan dan pembuatan implan CCM dan implan paduan Ti ditekankan pada *technology readiness level* (TRL) minimal 5–6. Inovasi pada tahap ini utamanya terjadi pada desain material dan teknologi proses.

Para dokter ortopedi perlu diajak berpartisipasi sejak tahap mendesain bentuk dan ukuran implan yang mempertimbangkan antropometri tulang pasien, kemudahan, efisiensi serta efektivitas proses bedah dan pemasangan ke pasien. Para dokter ortopedi juga berperan dalam mencari dan memberikan data antropometri pasien, baik dengan pengukuran langsung ke pasien maupun dari basis data. Inovasi yang diharapkan muncul pada tahap ini mencakup desain implan dan teknik operasi/bedah implan. Sebagai contoh adalah kolaborasi pengembangan implan Co-Cr-Mo di LIPI dengan dokter spesialis ortopedi dari Bagian Ortopedi–Rumah Sakit Pusat Pertamina, Jakarta, yang dimulai pada tahun 2012. Melalui kolaborasi ini dihasilkan prototipe pertama implan tulang belakang (*spine*) dengan desain ukuran dan geometri dari dokter dengan menggunakan paduan Co-Cr-Mo dari LIPI, seperti terlihat pada Gambar 9.

Untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas, perlu digunakan mesin 3-dimensi *printing* dalam membuat prototipe implan maupun produksi implan. Mesin *3-d printing* ini memiliki keunggulan, yaitu keakuratan produk, *cleanliness*, *customized products in a single production batch*, serta *updateable* dan *upgradeable* dengan skenario Industri 4.0.

Langkah selanjutnya adalah uji klinis prototipe implan CCM dan paduan Ti dalam negeri beserta studi kelayakan

dan kajian tekno-ekonomi komprehensif tentang pembuatan prototipe implan CCM dan paduan Ti dalam negeri ini. Insentif pajak dan insentif fiskal lainnya perlu diberikan bagi industri nasional yang bersedia dan mampu memproduksi implan CCM dan paduan Ti dalam negeri secara berkesinambungan. Selain itu, perlu adanya kebijakan dan regulasi yang mendukung ketersediaan dan penggunaan implan CCM dan paduan Ti dalam negeri di rumah sakit atau institusi layanan kesehatan.

## V. KESIMPULAN

Pengembangan material superkonduktor untuk mendukung kemandirian produksi alat MRI dalam negeri merupakan peluang besar yang dapat dimanfaatkan. Identifikasi perubahan dan pembentukan fasa pada material superkonduktor dari hasil litbang LIPI dapat menjadi landasan saintifik dalam mengembangkan kawat superkonduktor MRI dengan kestabilan termal yang lebih baik dibandingkan yang sudah ada di pasaran.

Modifikasi metode *internal-tin* LIPI dapat memberikan ruang bagi efisiensi penggunaan bahan baku logam. Selain itu, produk kawat superkonduktor dalam negeri untuk aplikasi MRI juga dapat memiliki keunggulan berupa multifilamen berstruktur nano, dengan proses *wire-drawing* dan *filaments-stacking* secara berulang sebanyak enam siklus yang didesain LIPI. Desain proses *metal forming* dan perlakuan panas kawat superkonduktor juga dapat ditingkatkan kualitasnya dengan mengacu pada orientasi kristalografi material seperti yang dilakukan di LIPI. Untuk mengurangi risiko kegagalan dalam proses manufaktur kawat superkonduktor, dapat dibuat pemodelan tentang evolusi atau pembentukan fasa yang terjadi berbasis persamaan Cahn-Hilliard yang dikembangkan LIPI. Magnet superkonduktor MRI buatan dalam negeri dapat dikembangkan menggunakan material superkonduktor  $Nb_3Sn$ ,  $MgB_2$ , atau BPSCCO.

Dalam rangka pemenuhan kebutuhan implan *arthroplasty* dalam negeri, perlu dikembangkan implan berbasis paduan Co-Cr-Mo yang dibuat dengan teknik manufaktur yang baik dan benar agar tidak menimbulkan cacat produk melalui pemaduan (*alloying*) dan perlakuan panas seperti yang dikembangkan di LIPI. Selain paduan Co-Cr-Mo, paduan Ti juga dapat dikembangkan di dalam negeri untuk pemenuhan kebutuhan implan *ar-*

*throplasty*. LIPI menggunakan Mo atau Nb untuk menyubstitusi V dan Al sehingga paduan Ti tersebut mudah ditempa dan dirol tanpa mengalami retak serta tidak mengakibatkan efek toksik pada tubuh manusia. Untuk memperoleh paduan Ti yang memiliki biokompatibilitas mekanis yang baik dengan tulang, litbang LIPI menambahkan Sn.

## VI. PENUTUP

Riset dan pengembangan material superkonduktor dan material implan tulang telah dilakukan untuk mendorong dan mendukung kemandirian alat kesehatan dalam negeri serta mendukung keterjangkauan layanan kesehatan yang prima bagi masyarakat. Akan tetapi, masih terdapat beberapa tantangan dalam pengembangan kedua jenis material maju tersebut ke depannya, di antaranya tuntutan aplikasi superkonduktor pada suhu ruangan, komersialisasi kawat superkonduktor produksi dalam negeri, pengembangan implan tulang dalam negeri yang memenuhi antropometri tulang orang Indonesia, pengembangan implan mampu luruh yang memenuhi kriteria medis, dan pengembangan implan untuk bedah saraf otak.

Tantangan-tantangan tersebut merupakan peluang untuk menemukan solusi inovatif bagi peningkatan daya saing nasional dan kemaslahatan masyarakat, seperti penggunaan teknik komputasi, ekspansi bisnis dari industri kawat/kabel yang sudah ada untuk komersialisasi kawat superkonduktor, kolaborasi antara peneliti–perekayasa–dokter ortopedi sejak tahap awal desain implan tulang, desain komposisi paduan implan tahan korosi *in-vivo*, *reverse engineering* implan impor serta penggunaan 3-dimensi *printing*. Jika inovasi-inovasi tersebut diselaraskan dengan penggunaan bahan baku lokal, diharapkan dapat dicapai peningkatan daya saing nasional dan kemandirian bangsa untuk kesejahteraan rakyat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur Alhamdulillah saya panjatkan kepada Allah Swt., Tuhan Yang Maha Esa, Maha Pengasih, dan Maha Penyayang atas segala rahmat dan karunia-Nya yang telah dilimpahkan kepada saya dalam menjalani dan menekuni dunia ilmu pengetahuan metalurgi dan material yang terus berkembang, dengan segala tantangan, risiko, dan kesempatannya. Naskah ini disusun sebagai refleksi dari seluruh perjalanan karier penelitian saya selama berkarya di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI.

Saya ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia atas penetapan saya sebagai Peneliti Ahli Utama; Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M.Agr.; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Gadis Sri Haryani, D.E.A.; Tim Penelaah Naskah Orasi, yaitu Prof. Dr. Nurul Taufiqu Rochman; Prof. Dr. Florentinus Firdiyono; Prof. Dr. Ratno Nuryadi, M.Eng., segala masukan dan koreksinya telah memacu saya memberikan yang terbaik bagi peningkatan substansi dan kualitas orasi profesor riset ini serta Panitia Pelaksana Pengukuhan yang telah menyelenggarakan pengukuhan profesor riset ini.

Apresiasi dan terima kasih yang tinggi juga saya sampaikan kepada Deputy Bidang Ilmu Pengetahuan Teknik LIPI, Dr. Agus Haryono, M.Eng., dan Sekretaris Utama LIPI, Rr. Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP, M.A., dan Kepala BOSDM LIPI Dr. Heru Santoso, M.App.Sc. atas dukungan moril dan bantuannya sehingga saya bisa berkesempatan menyampaikan orasi profesor riset ini.

Terima kasih saya sampaikan pula kepada Kepala Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI dan seluruh sejawat dan sivitas Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI yang saya cintai, baik struktural, koordinator dan anggota kelompok penelitian, administrasi, para peneliti dan non-peneliti aktif maupun yang purnabakti serta para honorer atas dukungannya selama saya menjadi bagian dari Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI.

Apresiasi tinggi dan ucapan terima kasih saya tujukan kepada Dr. Agung Imaduddin, M.Eng. dan teman-teman Tim Superkonduktor serta kepada Dr. Ika Kartika, M.T. dan teman-teman Kelompok Penelitian Material Implan Biokompatibel di P2MM-LIPI atas segala bantuan, dukungan, dan kolaborasinya. Semoga Bapak Agung Imaduddin, Ibu Ika Kartika, dan teman-teman sukses dalam melakukan kegiatan riset dan pengembangan serta menjalani karier fungsional peneliti hingga ke jenjang profesor riset. *Aamiin*.

Tidak lupa saya saya haturkan bakti dan terima kasih saya kepada kedua orang tua saya, Bapak Zainal Abidin Haris (*rahimahullah*) dan Ibu Umi Rusminah (*rahimahullah*) yang telah mendoakan, mendidik, memberikan kasih sayang dan suri teladan kepada saya, kakak-kakak, dan adik dengan penuh tulus ikhlas. Terima kasih kepada kakak-kakak saya: Andika Widya Pratomo beserta keluarga dan Andika Widya Prayudi (*rahimahullah*), dan adik tercinta Andika Widya Prasetyo (*rahimahullah*) atas segala kasih sayang dan perhatiannya. Juga kepada bapak dan ibu mertua saya, Bapak Hendrikus Andries (*rahimahullah*) dan Ibu Siti Rohani Simanjuntak (*rahimahullah*) beserta keluarga besar Andries dan Simanjuntak untuk segala perhatian dan kebersamaannya.

Kepada istri saya tercinta, Dian Fatmita Sandra Setiawaty Andries, terima kasih atas segala doa, cinta kasih, pengorbanan,



dan kesabarannya dalam mendampingi saya hingga saat ini, baik pada saat suka maupun duka, baik dalam membina rumah tangga maupun dalam mendukung perjalanan karier saya di LIPI. Juga terima kasih kepada kedua putra saya tercinta Andrew Filbert Dary Pramono dan Andrien Varian Hilmy Pramono atas doa, cinta, kasih sayang, dan dukungannya. Semoga kalian menjadi insan yang penuh iman dan takwa, *istiqomah*, sabar, penuh rasa syukur kepada Allah Swt., serta bermanfaat dan berguna bagi agama, keluarga, dan masyarakat. *Aamiin*.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada para hadirin yang telah meluangkan waktu dan dengan sabar mengikuti acara pengukuhan saya hari ini. Semoga Allah Swt. senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua.

Akhir kata, saya memohon maaf yang sebesar-besarnya kepada Bapak dan Ibu sekalian apabila terdapat banyak kesalahan, kekurangan, dan kata-kata yang kurang berkenan dalam orasi pengukuhan profesor riset saya ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Pusat Statistik. Penduduk Indonesia menurut Provinsi 1971, 1980, 1990, 1995, 2000 dan 2010 [Internet]. 2012 [Diakses pada 17 Maret 2020]. Tersedia di <https://www.bps.go.id/statictable/2009/02/20/1267/penduduk-indonesia-menurut-provinsi-1971-1980-1990-1995-.2000-dan-2010.html>.
2. Worldometers. World Population [Internet]. [Diakses pada 31 Agustus 2019]. Tersedia di [www.worldometers.info/world-population/](http://www.worldometers.info/world-population/).
3. Badan Pusat Statistik. Umur harapan hidup saat lahir (UHH) menurut provinsi [metode baru], 20106–2019 [Internet]. 2018 [Diakses pada 31 Agustus 2019]. Tersedia di <https://www.bps.go.id/dynamictable/2018/04/16/1298/angka-harapan-hidup-saat-lahir-menurut-provinsi-2010-2017.html>.
4. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Aplikasi info alat kesehatan & PKRT [Diakses pada 17 Maret 2020]. [infoalkes.kemkes.go.id](http://infoalkes.kemkes.go.id).
5. Onnes HK. Research notebooks. Kamerlingh onnes archive. Boerhaave Museum, Leiden, the Netherlands: 56–57.
6. Yntema GB. Superconducting winding for electromagnet. *Physical Review*. 1955; 98:1197.
7. Tinkham M. Introduction to superconductivity. Second Edition. Dover Publications Inc.; 1996:1–16.
8. Abraham T. GB-106R: the superconductor industry-a technical economic and market analysis. USA: Business Communication Company, Inc.; 2002.
9. Sajuti Dj, **Pramono AW**. Prospek aplikasi metalurgi dalam teknik rekayasa biomedis. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Metalurgi 2004: 21–29; 22 Desember 2004, Graha Widya Bhakti–Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.

10. Nagamatsu J, Nakagawa N, Muranaka T, Zenitani, Y, Akimitsu J. Superconductivity at 39 K in magnesium diboride. *Nature*. 2001;410(6824):63–64.
11. Kamihara Y, Hiramatsu H, Hirano, M, Kawamura, R, Yanagi, H, Kamiya, T, Hosono, H. Iron-based layered superconductor: LaOFeP. *Journal of American Chemical Society*. 2006;128(31): 10012–10013.
12. Chu CW, Gao L, Chen F, Huang ZJ, Meng RL, Xue YY. Superconductivity above 150 K in  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$  at high pressures. *Nature*. 1993;365:323–325.
13. Hemley RJ, Ahart M, Liu H, Somayazulu M. Road to room-temperature superconductivity: Tc above 260 K in lanthanum superhydride under pressure. Makalah dipresentasikan pada: Proceedings of Ramon Areces Symposium, ‘Superconductivity and Pressure: On the Road to Room-Temperature Superconductivity’; 21–22 Mei 2018; Madrid, Spanyol.
14. Drozdov AP, Kong PP, Minkov VS, Besedin SP, Kuzovnikov MA, Mozaffari S, Balicas L, Balakirev FF, Graf DE, Prakapenka VB, Greenberg E, Knyazev DA, Tkacz M, Eremets MI. Superconductivity at 250 K in lanthanum hydride under high pressures. *Nature*. 2019;569(7757):528–531.
15. Market Research Store. Global superconductor market 2019 by manufacturers, regions, type and application, forecast to 2024 [Internet]. 2019 [Diakses pada 17 Maret 2020]. Tersedia di <https://www.marketresearchstore.com/report/global-superconductor-market-2019-by-manufacturers-regions-type-489615>.
16. Report ID: FBI100087. Magnetic resonance imaging (MRI) systems market size, share and industry analysis by strength (less than 1.5 t, 1.5 t, and more than 1.5 t), by application (musculoskeletal, neurology, cardiology, body imaging), by end user (hospitals, ambulatory surgical centers, diagnostic centers), and regional forecast 2018–2025. *Fortune Business Insights*. April 2019.

17. **Pramono AW.** 2001. Quantitative analysis of the thermomechanical properties of Cu-18wt%Nb in-situ metal matrix composite wire and the Cahn-Hilliard simulation of its thermal phase evolution. Aachen: Shaker Verlag; 2001.
18. Raabe D, **Pramono AW.** Report on copper-niobium research at the Max-Planck-Institut Düsseldorf – simulations and experiments, Max-Planck Project Report; 2004.
19. **Pramono AW.** Makrotekstur dari fasa tembaga dan fasa niobium pada komposit *in-situ* Cu-18%Nb sebagai coran dan kawat. Majalah Jurnal Fisika Indonesia–Himpunan Fisika Indonesia. 2003;A4(0206):1–7.
20. **Pramono AW.** Pemulihan dinamis dan rekristalisasi dinamis pada kawat komposit *in-situ* Cu-18%Nb dan kawat tembaga. Majalah Korosi. 2003;12(1):23–31.
21. **Pramono AW.** Pengamatan dan analisa fenomena kompetisi antara proses pemulihan dinamis (*dynamic recovery*) dan rekristalisasi dinamis (*dynamic recrystallization*) pada kawat tembaga. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Semiloka Nasional Metalurgi 2003: 263–273; 16 Desember 2003; Hotel Bumi Karsa–Kompleks Bidakara, Jakarta, Indonesia.
22. **Pramono AW.** Pengamatan evolusi struktur mikro pada kawat tembaga-niobium dan pengaruhnya terhadap sifat mekanis. Majalah Telaah: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. 2004;23(0209):0209-1–0209-9.
23. **Pramono AW,** Han K. Microstructures, mechanical properties and electrical conductivity of intermediately heat treated copper-18%niobium wires. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Indonesia Toray Science Foundation (ITSF); 2 Februari 2004; Indonesian Room–Shangri-La Hotel, Jakarta, Indonesia.
24. **Pramono AW,** Han K. The preliminary observation on the hardness and the microstructure evolution of intermediately heat-treated copper-18%niobium metal matrix composites at low wire-deformations. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Metalurgi 2004: 185–192; 22 Desember 2004; Graha Widya Bhakti–Puspipetek, Tangerang Selatan, Indonesia.

25. **Pramono, AW.** Analisa distribusi ukuran filamen niobium di matriks tembaga pada kawat komposit Cu-Nb. Prosiding Seminar Material Metalurgi 2009: 295–306; 2 Desember 2009; Graha Widya Bhakti–Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.
26. **Pramono AW.** Pembuatan kawat Cu-Nb untuk lilitan transformator tegangan tinggi. Laporan Akhir Proyek DIP Pusat Penelitian Metalurgi–LIPI; 2004. 36–49.
27. **Pramono AW.** Modeling komputer sebagai alat bantu penelitian dan pengambilan keputusan di bidang metalurgi dan ilmu bahan: simulasi proses presipitasi dan ketidakstabilan morfologi suhu tinggi dari niobium di matriks tembaga. Makalah dipresentasikan dalam: Prosiding Semiloka Nasional Metalurgi; 2003. 151–163.
28. **Pramono AW, Sebleku P, Priyotomo G, Nishijima G, Watanabe K.** Research and development of tin based superconductors Cu-Nb-Sn. Annual Report of High Field Laboratory for Superconducting Materials (HFLSM), Institute for Materials Research (IMR), Tohoku University; 2005. 77–81.
29. **Pramono AW, Sebleku P.** Investigasi proses interdifusi antara Nb dan Sn serta pembentukan senyawa  $A_{15} Nb_3 Sn$  pada kawat superkonduktor Cu-Nb-Sn dengan menggunakan EPMA. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Material Metalurgi 2006: 380–387; 20 Desember 2006; Graha Widya Bhakti – Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.
30. **Pramono AW.** Kondisi *plane-strain*, ketidakseragaman filamen, dan pembentukan senyawa  $Nb_3 Sn$  pada kawat superkonduktor Cu-Nb-Sn. Majalah Metalurgi. 2008;23(1):3–15.
31. **Pramono AW.** The potential development of nano-structured Cu- $Nb_3 Sn$  superconductor wire for the application of medical device in Indonesia. Makalah dipresentasikan pada: Proceeding of the 12th International Conference on Quality in Research (QIR). 2564–2664; 4–7 Juli 2011; Bali, Indonesia.
32. Firdiyono F, **Pramono AW, Sebleku P, Ciptasari NI, Suryantoro A.** Percobaan pembuatan fasa intermetalik  $Nb_3 Sn$  dengan proses sintering logam niobium (Nb) dan timah (Sn). Majalah Metalurgi. 2011;26(3):137–148.

33. Bintoro S, Soegijono B, **Pramono AW**. Efek perlakuan panas pada kawat superkonduktor internal-tin rod restack process Cu-Nb-Sn. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 2013; 14(4): 295–299.
34. Imaduddin A, Siswayanti B, **Pramono AW**, Sebleku P, Suryantoro A, Yudanto SD, Hendrik. Analisa hambatan jenis listrik pada kawat superkonduktor dengan memakai alat cryogenic. *Prosiding Seminar Material Metalurgi 2014*: 41–46; 2 Oktober 2014; Graha Widya Bhakti–Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.
35. Firdiyono F, **Pramono AW**, Sebleku P, Suryantoro A. Pembuatan kawat superkonduktor multi-filamen Cu-Nb-Sn dengan metode serbuk dalam tabung. *Majalah Metalurgi*. 2015;30(1):39–47.
36. Imaduddin A, Siswayanti B, **Pramono AW**, Sebleku P, Yudanto SD, Hendrik. Effect of annealing on Cu-Nb-Sn superconducting wire. *Jurnal Sains Materi*. 2016;16(3):1411–1098.
37. **Pramono AW**. Preliminary observation on macro texture of Nb<sub>3</sub>Sn low temperature superconductor (LTS). *Advanced Materials Research*. 2013;789:193–197.
38. Aniswatin K, Risanti DD, **Pramono AW**. Analisis orientation distribution function (ODF) unsur Nb dan senyawa intermetalik superkonduktor Nb<sub>3</sub>Sn. *Jurnal Teknik POMITS*. 2013;2(2):F268–273.
39. Aniswatin K, Risanti DD, **Pramono AW**. Macrotexture study of non- and sintered pure Nb and Nb<sub>3</sub>Sn using orientation distribution function. *Advanced Materials Research*. 2014; 896: 638–641.
40. Suryantoro A, **Pramono AW**. Perkembangan rekayasa perangkat lunak di bidang korosi. *Majalah Korosi*. 2009; 18(2): 7–14.
41. **Pramono AW**, Suryantoro A. Preliminary study of elasticity of binary alloy. *Majalah Metalurgi*. 2011;26(3):131–136.
42. **Pramono AW**, Suryantoro A. Overview of density functional theory for superconductors. *Majalah Metalurgi*. 2012; 27(3): 182–189.
43. Hangga AM, Risanti DD, **Pramono AW**. Modeling interdifusi niobium (Nb) dan timah (Sn) dalam pembentukan senyawa superkonduktif Nb<sub>3</sub>Sn. *Jurnal Teknik POMITS*. 2013; 2(1): 1–6.

44. Imaduddin A, **Pramono AW**, Sigit DY. Metode pembuatan superkonduktor  $MgB_2$ . Paten Indonesia No. P00201604224. 23 Juni 2016.
45. Imaduddin A, Yudanto SD, Herbirowo S, Sebleku P, Hendrik, **Pramono AW**. Metode peningkatan suhu kritis nol pada superkonduktor  $MgB_2$ . Paten Indonesia No. P00201604886. 25 Juni 2016.
46. Nugraha H, Imaduddin A, **Pramono AW**. Sistem pengukuran rapat arus di dalam alat cryogenic. Paten Indonesia No. P00201704130. 21 Juni 2017.
47. Imaduddin A, Samsulludin, Wicaksono MR, Saefuloh I, Herbirowo S, Yudanto SD, Hendrik, Nugraha H, Mabruhi E, **Pramono AW**. The doping effect of SiC and carbon nanotubes on the manufacture of superconducting monofilament  $MgB_2$  wires. *Materials Science Forum*. 2019;966:249–256.
48. Kang B, Putri WBK, Kang WN. Effect of SiC buffer layer on flux pinning property of  $MgB_2$  tapes. *Current Applied Physics*. 2019;19(6):670–674.
49. Hendrik, Sebleku P, Yudanto SD, Siswayanti B, **Pramono AW**, Imaduddin A. Manufacture of Bi, Pb-Sr-Ca-Cu-O pellet disc using wet method. *AIP Conference Proceedings*. 2016; 1725(020026)–The 3<sup>rd</sup> International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2015); 6–7 Oktober 2015; Semarang, Indonesia.
50. Hendrik, Sebleku P, Imaduddin A, **Pramono AW**. Effect of humid atmosphere on resistivity and crystallinity behavior of BP-SCCO superconductor made by solid state method. *AIP Conference Proceedings*. 2016; 1746(020006)–The 2016 Conference on Fundamental and Applied Science for Advanced Technology (CONFAST 2016); 25–26 Januari 2016; Yogyakarta, Indonesia.
51. Hendrik, Sebleku P, Siswayanti B, **Pramono AW**. The effect of sintering temperature on the rolled silver-sheathed monofilament Bi,Pb-Sr-Ca-Cu-O superconducting wire. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017; 202(012025)–The 4<sup>th</sup>

International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2016); 27–28 September 2016, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

52. Imaduddin A, **Pramono AW**, Siswayanti B, Hendrik, Nugraha H, Lusiana, Sebleku P, Herbirowo S, Yudanto SD. Metode pembuatan kawat monofilamen perak superkonduktor. Paten Indonesia No. P00201708372. 24 November 2017.
53. Hendrik, Sebleku P, Herbirowo S, Yudanto SD, Siswayanti B, Naffat L, Nugraha H, Imaduddin A, **Pramono AW**. Monofilament wire silver sheathed Bi,Pb-Sr-Ca-Cu-O prepared by four-pass rolling and repeated heating process. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018; 367(012053)–The 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2017); 19–20 September 2017; Makassar, Indonesia.
54. Imaduddin A, Hendrik, Yudanto SD, Nugraha H, Sebleku P, **Pramono AW**. Study on cold-drawing in powder-in-tube process in fabricating silver-sheathed (Bi,Pb)-Sr-Ca-Cu-O tapes. IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series. 2018; 1091(012004)–The 9<sup>th</sup> Seminar on Magnetic Materials (9<sup>th</sup> SMM) 19–21 October 2015; Palembang, Indonesia.
55. Siswayanti B, Yudanto SD, Imaduddin A, Sebleku P, Hendrik, Nugraha H, Lusiana, Amal I, Darsono N, Amri F, Syuhada N, Syahfina R, Herbiworo S, **Pramono AW**. The effect of MgO, CNT, TiO<sub>2</sub> addition on transport properties and formation (Bi,Pb)-2223 prepared by solid state method and recurrent sintering. AIP Conference Proceedings. 2018; 1964(020039)–the 1<sup>st</sup> International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM); 24–25 Oktober 2017; Jakarta, Indonesia.
56. Wuryanto. Kumpulan hasil penelitian kelompok superkonduktor. Riset Unggulan Terpadu–I. 19 Maret 1996. Pusat Sains Materi–Batatan.
57. Sukirman E, Adi WA, Winatapura DS, Sulungbudi GT. Review kegiatan litbang superkonduktor Tc tinggi di P3IB-BATAN. Jurnal Sains Materi Indonesia. 2003;4(2):30–39.



58. Winatapura DS, Purwamargapratala YM, Adi WA, Deswita, Sukirman E. Sifat listrik superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  hasil proses pelelehan dengan dopant Ti. *Majalah Metalurgi*. 2012;27(1):35–42.  
2018;7(1):17–23.
59. Savitri M, Khayati SN, Maryati Y, Veronica KW, Somantri WA, Saragi T, Risdiana. Sintesis dan karakterisasi bahan superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. 2015;5(2):35–38.
60. Lubis H, Imaduddin A, Marlianto E, Sebleku P, Sihombing E. Pengaruh waktu proses sintering pada kawat superkonduktor Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O dengan selubung Ag dopan MgO menggunakan metode powder-in-tube. *Journal of Aceh Physics Society*. 2018; 7(1): 17–23.
61. Fauzi RM. Pertumbuhan fase bahan superkonduktor Bi-2223 dengan variasi doping Pb (BPSCCO-2223) pada kadar Ca=2.10 dan suhu sintering 855°C [Skripsi S1]. [Lampung]: FMIPA, Universitas Lampung; 2017.
62. Nisa K. Sintesis dan karakterisasi FeTe $_{1-x}$ S $_x$  dengan metode pepaduan mekanik dan perlakuan panas sebagai material superkonduktor [Skripsi S1]. [Surabaya]: Fakultas Sains dan Teknologi–Universitas Airlangga; 2016.
63. Dewi YP. Pengaruh komposisi pada sifat struktur dan superkonduktivitas Fe(Se,Te) dipreparasi dengan metode metalurgi serbuk [Skripsi S1]. [Surabaya]: Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga; 2016.
64. Maulana MI. Sintesis dan analisis penambahan doping magnesium (Mg) pada material superkonduktor FeSe dengan metode reaksi padatan dalam tabung tertutup. *Jurnal Saintis*. 2019;19(2):89–94.
65. Fitriandhani R. Pengaruh variasi suhu sintering dan komposisi stoikiometri terhadap pembentukan fasa  $\beta$ -FeSe melalui pepaduan mekanik dan proses reaksi padatan [Skripsi S1]. [Jakarta]: Departemen Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik PLN; 2019.

66. Baramulugan A, Rajeswari S, Balossier G, Rebelo AHS, Ferreira JMF. Corrosion aspects of metallic implants: an overview. *Materials and Corrosion*. 2008;59(11):855–869.
67. Lane WA. Some remarks on treatment of fractures. *The British Medical Journal*. 1895:861–862.
68. Uthhoff H.K, Poitras P, Backman DS. Internal plate fixation of fractures: Short history and recent developments. *Journal of Orthopaedic Science*. 2006;11:118–126.
69. Lambotte A. Technique et indication des protheses dans le traitement des fractures. *Presse Med*. 1909;17:321.  
1963;34:1475–1477.
70. Sherman WO. Vanadium steel bone plates and screws. *Surgery, Gynecology & Obstetrics*. 1912;14:629–634.
71. Monypenny JHG. Unstainable steel. *Mining and Scientific Press*. 1921;122:463.
72. Narushima T. New generation metallic biomaterials. Dalam Mitsuo Niinomi, editor. *Metals for biomedical devices*. 2010:355–378.
73. Banon BP, Mild EE. Titanium alloys for biomaterial application: an overview. Dalam: Luckey HA, Kubli F, editor. *Titanium alloys in surgical implants, ASTM STP 796*. American Society for Testing Materials. 1983:7–15.
74. Buehler WJ, Gilfrich JV, Wiley RC. Effect of low temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. *Journal of Applied Physics*. 1963; 34: 1475–1477.
75. Wang FE, Pickart SJ, Alperin HA. Mechanism of TiNi martensitic transformation and the crystal structure of Ti-NiII and Ti-NiIII phases. *Journal of Applied Physics*. 1972;43 97.
76. Prasad K, dkk. Metallic biomaterials: current challenges and opportunities. *Materials*. 2017;10(884).
77. **Pramono AW**. Bio-composite materials as the potential link between materials science and life science. Case study: exo-skeleton of lobster *homarus americanus*. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Material Metalurgi. 2005: 214–224; 29 Desember 2005; Pusat Penelitian Metalurgi dan Material–LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia.

78. **Pramono AW**, Firdiyono, F. Karakteristik ke Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Material Metalurgi. 2006: 388–393; 20 Desember 2006, Graha Widya Bhakti–Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia. kerasan dan kekuatan bahan biokomposit cangkang arthropoda.
79. Handayani M, **Pramono AW**, Firdiyono F, Sebleku P, Sulistiyono E. Pembuatan kitin dan kitosan dari limbah cangkang crustacea. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Material Metalurgi. 2006: 481–486; 20 Desember 2006; Graha Widya Bhakti–Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.
80. Haerudin H, **Pramono AW**, Kusuma DS, Jenie A, Voelcker NH, Gibson C. Preparation and characterization of chitosan/montmorillonite (mmt) nanocomposite systems. *International Journal of Technology*. 2010;1:65–73.
81. Saini M, Singh Y, Arora P, Arora V, Jain K. Implant biomaterials: a comprehensive review. *World Journal of Clinical Cases*. 2015;3:52–57.
82. Rohan. Global bio-implants market worth \$134.3 billion by 2017 [Internet]. [Diakses pada 31 Agustus 2019]. Tersedia di <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/bio-implants.asp>.
83. Yuswono, **Pramono AW**. Pengaruh kandungan Cr dan Mn di dalam logam biocompatible paduan Co-Cr-Mo terhadap pengerjaan tempa. *Majalah Material, Komponen, dan Konstruksi*. 2007;VII(12):54–64.
84. Yuswono, **Pramono AW**. Pembuatan paduan logam Co-30%Cr-6%Mo melalui pengerjaan kompak dan sinter dan pengaruhnya terhadap kandungan Si. *Majalah Material, Komponen, dan Konstruksi*. 2010;10(2):110–118.
85. Sukaryo SG, **Pramono AW**, Suparto I, Mariya S. Sintesis, Analisis korosi dan toksisitas pada material biokompatibel Co-Cr-Mo. *Majalah Metalurgi*. 2010;25(3):163–167.
86. **Pramono AW**. Urgency to develop biocompatible materials for medical implant applications in Indonesia. *Majalah Metalurgi*. 2010;25(1):7–12.

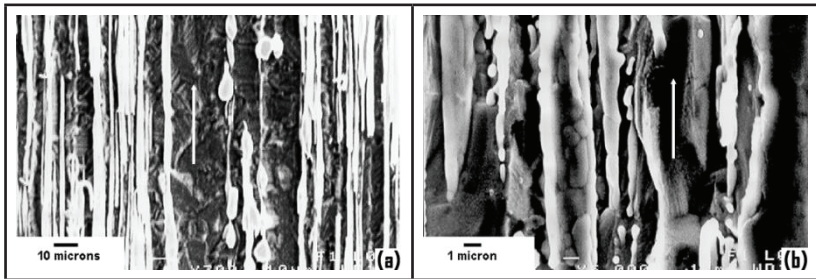
87. Marsumi Y, **Pramono AW**. Influence of niobium or molybdenum in titanium alloy for permanent implant application. *Advances in Materials Research*. 2014;900:53–63.
88. Sutowo C, Senopati G, Supriadi S, **Pramono AW**, Suharno B. The influence of Sn addition on the microstructure and mechanical properties of the new  $\beta$ -type Ti-Mo-Nb based alloys for implant material. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2019; 541(012036)–the 2<sup>nd</sup> International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM); 25–26 September 2018; Tangerang Selatan, Indonesia.
89. Utomo MS, Amal MI, Supriadi S, Malau D, Annur D, **Pramono AW**. Design of modular femoral implant based on anthropometry of eastern asian. *AIP Conference Proceedings*. 2019; 2088(020033)–the 2<sup>nd</sup> International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM); 25–26 September 2018; Tangerang Selatan, Indonesia.
90. Smorygo O, Marukovich A, Mikutski V, **Pramono AW**. Macrocellular vitreous carbon with the improved mechanical strength. *Frontiers of Materials Science*. 2015;9(4):413–417.
91. Marukovich A, Smorygo O, Mikutski V, Ilyushchanka A, **Pramono AW**. Mechanical and hydraulic properties of open-cell vitreous carbon foams manufactured by different methods. Makalah dipresentasikan pada: *Proceeding of Euro Powder Metallurgy (Euro PM) 2015*; 4–7 September 2015; Reims, Prancis.
92. **Pramono AW**, Zander BD, Kutz T, Iskandar R, Tarmidzi FR, Nuraini L, Kartika I, Lestari FP, Erryani A. Initial stage of corrosion and SEM-EDX-TEM observations in biodegradable Mg-Ca-Zn alloys synthesized by powder metallurgy. Makalah belum dipublikasikan..
93. McDermott R, Lee S, ten Haken B, Trabesinger AH, Pines A, Clarke J. Microtesla MRI with a superconducting quantum interference device. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2004;101(21):7857–61.

94. Konar M, Lang J. Pros and cons of low-field magnetic resonance imaging in veterinary practice. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2011;52:S5-S14.
95. Ladd ME, Bachert P, Meyerspeer M, Moser E, Nagel AM, Norris DG, Schmitter S, Speck O, Straub S, Zaiss M. Pros and cons of ultra-high field MRI/MRS for human application. *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*. 2018; 109: 1-50.

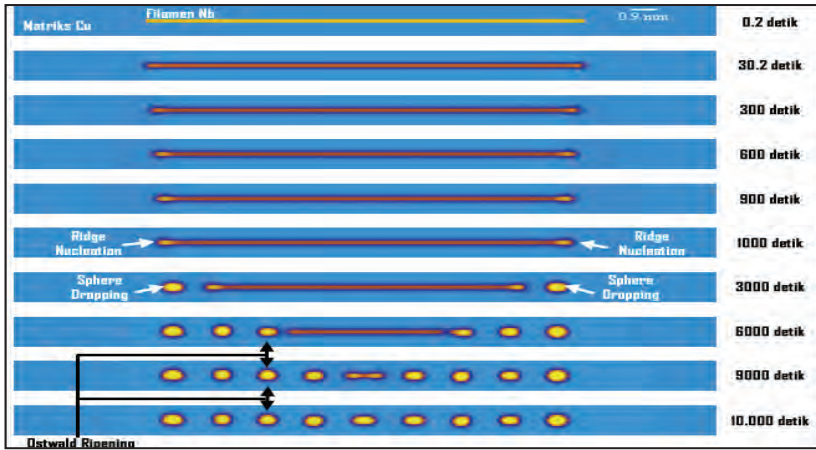
## LAMPIRAN

**Tabel 1.** Rekapitulasi Ketidakstabilan Fasa Nb di Matriks Cu akibat Pemanasan<sup>23</sup>

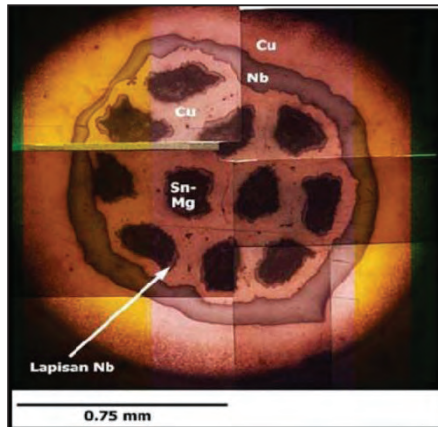
$\epsilon$ (%)	Suhu Pemaasan = 800°C			Suhu Pemanasan = 1.000°C		
	60 detik	30 menit	60 menit	15 menit	30 menit	60 menit
87,55	<i>interplate diffusion</i>	<i>ridge nucleation, sphere dropping</i>		<i>ridge nucleation, sphere dropping</i>		
95,06	<i>interplate diffusion</i>	<i>planar interface growth, ridge nucleation, sphere dropping</i>		<i>ridge nucleation, sphere dropping, planar interface growth, filament recrystallization, bamboo structure, edge spheroidization</i>		
98,07	<i>interplate diffusion</i>	<i>boundary splitting, ridge nucleation, sphere dropping</i>		<i>filament thickening (planar interface growth), filament</i>		
99,31		<i>boundary splitting, bamboo structure, edge spheroidization</i>		<i>recrystallization, bamboo structure, edge spheroidization</i>		



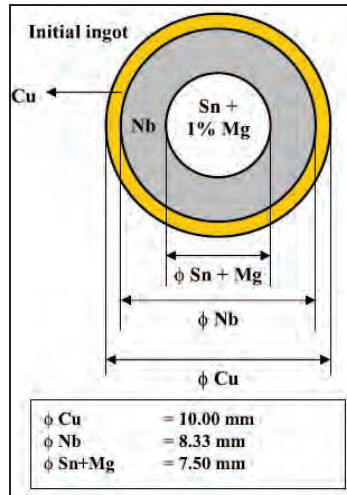
**Gambar 1.** (a) Evolusi fasa Nb di matriks Cu pada kawat Cu-18%Nb dengan persentase reduksi kawat  $\epsilon = 98,07\%$  dan dianil pada  $T=800^\circ\text{C}$  selama  $t=60$  menit, dan (b) dianil pada  $T=1.000^\circ\text{C}$  selama  $t=30$  menit<sup>22</sup>.



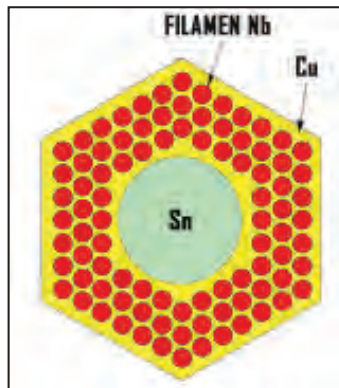
**Gambar 2.** Modeling Berbasis Persamaan Cahn-Hilliard tentang Ketidakstabilan Fasa Nb di matriks Cu pada suhu  $T = 1.000^{\circ}\text{C}$ <sup>27</sup>.



**Gambar 3.** Penampang Kawat Superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn Pertama dari LIPI dengan 11 Monofilamen di Dalamnya<sup>28</sup>

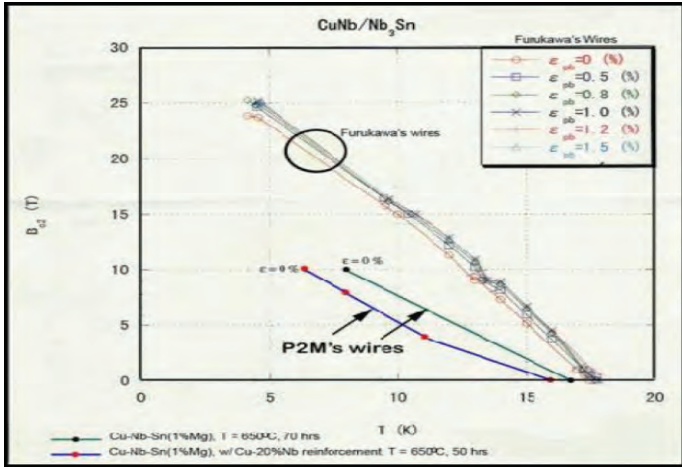


**Gambar 4.** Desain Kawat Superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn dari LIPI<sup>28</sup>.

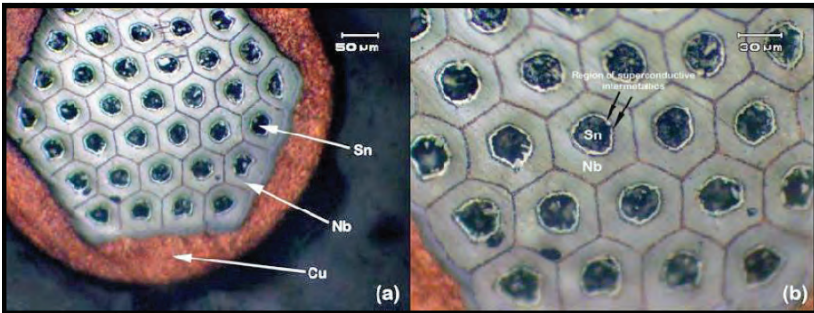


**Gambar 5.** Desain Umum Superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn dengan Metode *Internal-Tin*.





**Gambar 6.** Hasil Pengujian Superkonduktivitas Kawat Superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn Pertama LIPI di HFLSM, Tohoku University, Jepang<sup>28</sup>.

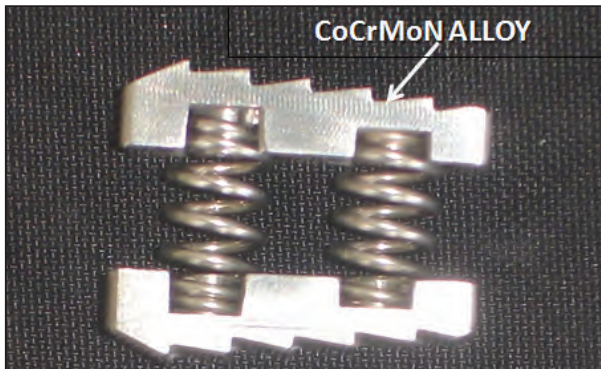


**Gambar 7.** Penampang kawat superkonduktor Cu-Nb<sub>3</sub>Sn multifilamen LIPI dengan metode PIT, hasil kolaborasi dengan PT Timah (Persero) Tbk, perusahaan Luvata Waterbury Inc.–Amerika Serikat, dan High Field Laboratory for Superconducting Materials (HFLSM)–Institute for Materials Research (IMR), Tohoku University, Jepang<sup>33</sup>.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**Gambar 8.** Alat *Cryogenic Magnet System* yang ada di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI.



**Gambar 9.** Implan tulang belakang (*spine implant*) dari paduan Co-Cr-Mo dibuat oleh Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI dengan desain dari dokter spesialis orthopedic RS Pusat Pertamina-Jakarta.

## DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

### Buku Internasional

1. **Pramono AW.** Quantitative analysis of the thermomechanical properties of Cu-18wt%Nb in-situ metal matrix composite wire and the Cahn-Hilliard simulation of its thermal phase evolution. Aachen: Shaker Verlag; 2001.

### Buku Nasional

2. Syukri AF, Haryono A, **Pramono AW**, Mashad D, Pinandito M, Rochman NT, Satriani S, Fizzanty T, Fatriasari W. Dalam: Pudjiastuti TN, Mashad D, editor. 50 tahun kiprah LIPI untuk bangsa. Jakarta: LIPI Press; 2017.

### Jurnal Internasional

3. Imaduddin A, Samsulludin, Wicaksono MR, Saefuloh I, Herbirowo S, Yudanto SD, Hendrik, Nugraha H, Mabururi E, **Pramono AW.** The doping effect of SiC and carbon nanotubes on the manufacture of superconducting monofilament MgB<sub>2</sub> wires. Materials Science Forum. 2019;966:249–256.
4. Smorygo O, Marukovich A, Mikutski V, **Pramono AW.** Macrocellular vitreous carbon with the improved mechanical strength. Frontiers of Materials Science. 2015;9(4):413–417.
5. Marsumi Y, **Pramono AW.** Influence of niobium or molybdenum in titanium alloy for permanent implant application. Advances in Materials Research. 2014;900:53–63.
6. Aniswatin K, Risanti DD, **Pramono AW.** Macrotexture study of non- and sintered pure Nb and Nb<sub>3</sub>Sn using orientation distribution function. Advanced Materials Research. 2014;896:638–641.
7. **Pramono AW.** Preliminary observation on macro texture of Nb<sub>3</sub>Sn low temperature superconductor (LTS). Advanced Materials Research. 2013;789:193–197.

8. Antoro ID, Soegijono B, **Pramono AW**. Simulation of effect of orientation distribution parameters of MWNT fiber on elastic moduli of hybrid composites epoxy/glass-MWNT. *Asian Transactions on Science and Technology*. 2013;03(03):1–8.
9. Haerudin H, **Pramono AW**, Kusuma D.S, Jenie A, Voelcker NH, Gibson C. Preparation and characterization of chitosan/montmorillonite (mmt) nanocomposite systems. *International Journal of Technology*. 2010;1(1):65–73.

### **Jurnal Nasional**

10. Imaduddin A, Siswayanti B, **Pramono AW**, Sebleku P, Yudanto SD, Hendrik. Effect of annealing on Cu-Nb-Sn superconducting wire. *Jurnal Sains Materi*. 2016;16(3):1411–1098.
11. Firdiyono F, **Pramono AW**, Sebleku P, Suryantoro A. Pembuatan kawat superkonduktor multi-filamen Cu-Nb-Sn dengan metode serbuk dalam tabung. *Majalah Metalurgi*. 2015;30(1):39–47.
12. Hangga AM, Risanti DD, **Pramono AW**. Modeling interdifusi niobium (Nb) dan timah (Sn) dalam pembentukan senyawa superkonduktif Nb<sub>3</sub>Sn. *Jurnal Teknik POMITS*. 2013;2(1):1–6.
13. Aniswatin K, Risanti DD, **Pramono AW**. Analisis orientation distribution function (ODF) unsur Nb dan senyawa intermetalik superkonduktor Nb<sub>3</sub>Sn. *Jurnal Teknik POMITS*. 2013;2(2):F268–273.
14. Bintoro S, Soegijono B, **Pramono AW**. Efek perlakuan panas pada kawat superkonduktor internal-tin rod restack process Cu-Nb-Sn. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 2013;14(4):295–299.
15. Anwar MS, **Pramono AW**, Judarta VI, Manaf A. The role of pumice in self-compacting lightweight aggregate concrete manufacture. *Asian Transactions on Basic and Applied Sciences*. 2012;02(04):14–20.
16. **Pramono AW**, Suryantoro A. Overview of density functional theory for superconductors. *Majalah Metalurgi*. 2012;27(3):182–189.

17. Anwar MS, Sutowo C, **Pramono AW**, Priyono B, Nasoetion R. Analisa kerusakan pada atap zincoating di lingkungan atmosfer industri. *Majalah Metalurgi*. 2012;27(3):225–230.
18. **Pramono AW**, Suryantoro A. Preliminary study of elasticity of binary alloy. *Majalah Metalurgi*. 2011;26(3):131–136.
19. Firdiyono F, **Pramono AW**, Sebleku P, Ciptasari NI, Suryantoro A. Percobaan pembuatan fasa intermetalik Nb<sub>3</sub>Sn dengan proses sintering logam niobium (Nb) dan timah (Sn). *Majalah Metalurgi*. 2011;26(3):137–148.
20. Sukaryo SG, **Pramono AW**, Suparto I, Mariya S. Sintesis, Analisis korosi dan toksisitas pada material biokompatibel Co-Cr-Mo. *Majalah Metalurgi*. 2010;25(3):163–167.
21. Yuswono, **Pramono AW**. Pembuatan paduan logam Co-30%Cr-6%Mo melalui pengerjaan kompak dan sinter dan pengaruhnya terhadap kandungan Si. *Majalah Material, Komponen, dan Konstruksi*. 2010;10(2):110–118.
22. **Pramono AW**. Urgency to develop biocompatible materials for medical implant applications in Indonesia. *Majalah Metalurgi*. 2010;25(1):7–12.
23. Suryantoro A, **Pramono AW**. Perkembangan rekayasa perangkat lunak di bidang korosi. *Majalah Korosi*. 2009;18(2):7–14.
24. **Pramono AW**. Kondisi *plane-strain*, ketidakseragaman filamen, dan pembentukan senyawa Nb<sub>3</sub>Sn pada kawat superkonduktor Cu-Nb-Sn. *Majalah Metalurgi*. 2008;23(1):3–15.
25. Yuswono, **Pramono AW**. Pengaruh kandungan Cr dan Mn di dalam logam biocompatible paduan Co-Cr-Mo terhadap pengerjaan tempa. *Majalah Material, Komponen, dan Konstruksi*. 2007;VII(12):54–64.
26. **Pramono AW**. Pengamatan evolusi struktur mikro pada kawat tembaga-niobium dan pengaruhnya terhadap sifat mekanis. *Majalah Telaah: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. 2004;23(0209): 0209-1–0209-9.

27. **Pramono AW**. Pemulihan dinamis dan rekristalisasi dinamis pada kawat komposit *in-situ* Cu-18%Nb dan kawat tembaga. *Majalah Korosi*. 2003;12(1):23–31.
28. **Pramono AW**. Makrotekstur dari fasa tembaga dan fasa niobium pada komposit *in-situ* Cu-18%Nb sebagai coran dan kawat. *Majalah Jurnal Fisika Indonesia – Himpunan Fisika Indonesia*. 2003;A4(0206):1–7.
29. **Pramono AW**. Studi konsolidasi serbuk intermetalik Al<sub>2</sub>Ti untuk pembuatan komponen/struktur teknologi tinggi. *Majalah Material, Komponen, dan Konstruksi*. 1995;1:29–44.

### Prosiding Internasional

30. Utomo MS, Amal MI, Supriadi S, Malau D, Annur D, **Pramono AW**. Design of modular femoral implant based on anthropometry of eastern asian. *AIP Conference Proceedings*. 2019; 2088(020033)–the 2<sup>nd</sup> International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM); 25–26 September 2018; Tangerang Selatan, Indonesia.
31. Sutowo C, Senopati G, Supriadi S, **Pramono AW**, Suharno B. The influence of Sn addition on the microstructure and mechanical properties of the new  $\beta$ -type Ti-Mo-Nb based alloys for implant material. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2019; 541(012036)–the 2<sup>nd</sup> International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM); 25–26 September 2018; Tangerang Selatan, Indonesia.
32. Siswayanti B, Yudanto SD, Imaduddin A, Sebleku P, Hendrik, Nugraha H, Lusiana, Amal I, Darsono N, Amri F, Syuhada N, Syahfina R, Herbiworo S, **Pramono AW**. The effect of MgO, CNT, TiO<sub>2</sub> addition on transport properties and formation (Bi,Pb)-2223 prepared by solid state method and recurrent sintering. *AIP Conference Proceedings*. 2018; 1964(020039)–the 1<sup>st</sup> International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM); 24–25 Oktober 2017; Jakarta, Indonesia.

33. Imaduddin A, Hendrik, Yudanto SD, Nugraha H, Sebleku P, **Pramono AW**. Study on cold-drawing in powder-in-tube process in fabricating silver-sheathed (Bi,Pb)-Sr-Ca-Cu-O tapes. IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series. 2018; 1091(012004)–The 9<sup>th</sup> Seminar on Magnetic Materials (9<sup>th</sup> SMM); 19–21 Oktober 2015; Palembang, Indonesia.
34. Hendrik, Sebleku P, Herbirowo S, Yudanto SD, Siswayanti B, Naffat L, Nugraha H, Imaduddin A, **Pramono AW**. Monofilament wire silver sheathed Bi,Pb-Sr-Ca-Cu-O prepared by four-pass rolling and repeated heating process. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018; 367(012053)–The 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2017); 19–20 September 2017; Makassar, Indonesia.
35. Hendrik, Sebleku P, Siswayanti B, **Pramono AW**. The effect of sintering temperature on the rolled silver-sheathed monofilament Bi,Pb-Sr-Ca-Cu-O superconducting wire. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017; 202(012025)–The 4<sup>th</sup> International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2016); 27–28 September 2016; Universitas Negeri Malang, Indonesia.
36. Hendrik, Sebleku P, Imaduddin A, **Pramono AW**. Effect of humid atmosphere on resistivity and crystallinity behavior of BP-SCCO superconductor made by solid state method. AIP Conference Proceedings. 2016; 1746(020006)–The 2016 Conference on Fundamental and Applied Science for Advanced Technology (CONFAST 2016); 25–26 Januari 2016; Yogyakarta, Indonesia.
37. Hendrik, Sebleku P, Yudanto SD, Siswayanti B, **Pramono AW**, Imaduddin A. Manufacture of Bi,Pb-Sr-Ca-Cu-O pellet disc using wet method. AIP Conference Proceedings. 2016; 1725(020026)–The 3<sup>rd</sup> International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2015); 6–7 Oktober 2015; Semarang, Indonesia.
38. Marukovich A, Smorygo O, Mikutski V, Ilyushchanka A, **Pramono AW**. Mechanical and hydraulic properties of open-cell

vitreous carbon foams manufactured by different methods. Makalah dipresentasikan pada: Proceeding of Euro Powder Metallurgy (Euro PM) 2015; 4–7 September 2015; Reims, Prancis.

39. **Pramono AW**. The potential development of nano-structured Cu-Nb<sub>3</sub>Sn superconductor wire for the application of medical device in Indonesia. Makalah dipresentasikan pada: Proceeding of the 12<sup>th</sup> International Conference on Quality in Research (QIR), 2564–2664; 4–7 Juli 2011; Bali.

### **Prosiding Nasional**

40. Imaduddin A, Siswayanti B, **Pramono AW**, Sebleku P, Suryantoro A, Yudanto SD, Hendrik. Analisa hambatan jenis listrik pada kawat superkonduktor dengan memakai alat cryogenic. Prosiding Seminar Material Metalurgi 2014: 41–46; 2 Oktober 2014; Graha Widya Bhakti–Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.
41. **Pramono, AW**. Analisa distribusi ukuran filamen niobium di matriks tembaga pada kawat komposit Cu-Nb. Prosiding Seminar Material Metalurgi 2009: 295–306; 2 Desember 2009; Graha Widya Bhakti–Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.
42. **Pramono AW**, Sebleku P. Investigasi proses interdifusi antara Nb dan Sn serta pembentukan senyawa A15 Nb<sub>3</sub>Sn pada kawat superkonduktor Cu-Nb-Sn dengan menggunakan EPMA. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Material Metalurgi 2006: 380–387; 20 Desember 2006; Graha Widya Bhakti – Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.
43. Handayani M, **Pramono AW**, Firdiyono F, Sebleku P, Sulistiyono E. Pembuatan kitin dan kitosan dari limbah cangkang crustacea. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Material Metalurgi. 2006: 481–486; 20 Desember 2006; Graha Widya Bhakti–Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.
44. **Pramono AW**, Firdiyono, F. Karakteristik kekerasan dan kekuatan bahan biokomposit cangkang arthropoda. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Material Metalurgi. 2006: 388–393; 20 Desember 2006, Graha Widya Bhakti–Puspiptek, Tangerang Selatan, Indonesia.



45. **Pramono AW**. Bio-composite materials as the potential link between materials science and life science. Case study: exoskeleton of lobster *homarus americanus*. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Material Metalurgi. 2005: 214–224; 29 Desember 2005; Pusat Penelitian Metalurgi dan Material–LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia.
46. **Pramono AW**, Han K. Microstructures, mechanical properties, and electrical conductivity of intermediately heat treated copper-18% niobium wires. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Indonesia Toray Science Foundation (ITSF); 2 Februari 2004; Indonesian Room–Shangri-La Hotel, Jakarta, Indonesia.
47. **Pramono AW**, Han K. The preliminary observation on the hardness and the microstructure evolution of intermediately heat-treated copper-18%niobium metal matrix composites at low wire-deformations. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Metalurgi 2004: 185–192; 22 Desember 2004; Graha Widya Bhakti–Puspipstek, Tangerang Selatan, Indonesia.
48. Sajuti Dj, **Pramono AW**. Prospek aplikasi metalurgi dalam teknik rekayasa biomedis. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Seminar Metalurgi 2004: 21–29; 22 Desember 2004, Graha Widya Bhakti–Puspipstek, Tangerang Selatan, Indonesia.
49. **Pramono AW**. Modeling komputer sebagai alat bantu penelitian dan pengambilan keputusan di bidang metalurgi dan ilmu bahan: simulasi proses presipitasi dan ketidakstabilan morfologi suhu tinggi dari niobium di matriks tembaga. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Semiloka Nasional Metalurgi 2003: 151–163; 16 Desember 2003; Hotel Bumi Karsa–Kompleks Bidakara, Jakarta, Indonesia.
50. **Pramono AW**. Pengamatan dan analisa fenomena kompetisi antara proses pemulihan dinamis (*dynamic recovery*) dan rekristalisasi dinamis (*dynamic recrystallization*) pada kawat tembaga. Makalah dipresentasikan pada: Prosiding Semiloka Nasional Metalurgi 2003: 263–273; 16 Desember 2003; Hotel Bumi Karsa–Kompleks Bidakara, Jakarta, Indonesia.

## Paten

51. Imaduddin A, **Pramono AW**, Siswayanti B, Hendrik, Nugraha H, Lusiana, Sebleku P, Herbirowo S, Yudanto SD. Metode pembuatan kawat monofilamen perak superkonduktor. Paten Indonesia No. P00201708372. 24 November 2017.
52. Nugraha H, Imaduddin A, **Pramono AW**. Sistem pengukuran rapat arus di dalam alat cryogenic. Paten Indonesia No. P00201704130. 21 Juni 2017.
53. Imaduddin A, Yudanto SD, Herbirowo S, Sebleku P, Hendrik, **Pramono AW**. Metode peningkatan suhu kritis nol pada superkonduktor  $MgB_2$ . Paten Indonesia No. P00201604886. 25 Juni 2016.
54. Imaduddin A, **Pramono AW**, Sigit DY. Metode pembuatan superkonduktor  $MgB_2$ . Paten Indonesia No. P00201604224. 23 Juni 2016.
55. Yuswono, **Pramono AW**, Rochman NT, Saefudin, Utomo EP, Rokhmanto F. Pembuatan serbuk zirkonia ( $ZrO_2$ ) melalui fusi natrium hidroksida (NaOH) dengan menggunakan pasir zircon silikat ( $ZrSiO_4$ ) sebagai bahan baku. Paten Indonesia No. P00201201247. 20 Desember 2012.

## DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Pramono AW.** Naskah akademik usulan pendirian UPT balai pengembangan dan aplikasi material biokompatibel implan orthopedi; 2016.
2. **Pramono AW.** Hilirisasi hasil penelitian dan pengembangan material implan orthopedi melalui model pengelolaan sistem informasi dan basis data real-time kebutuhan implan di Indonesia. Laporan Proyek Perubahan-Final (LPP-Final). Pendidikan dan Pelatihan Kepemimpinan Tingkat II Tahun 2016-Angkatan XLII Kelas K. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Kepemimpinan Aparatur Nasional-Lembaga Administrasi Negara.
3. **Pramono AW** (sebagai salah satu kontributor Forum Ilmuwan Muda Indonesia). SAINS45: agenda ilmu pengetahuan Indonesia menyongsong satu abad kemerdekaan. Edisi Konsultasi. Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia; 2015.
4. **Pramono AW, Sebleku P, Priyotomo G, Nishijima G, Watanabe K.** Research and development of tin based superconductors Cu-Nb-Sn. Annual Report of High Field Laboratory for Superconducting Materials (HFLSM), Institute for Materials Research (IMR), Tohoku University. 2005: 77-81.
5. **Pramono AW.** Pembuatan kawat Cu-Nb untuk lilitan transformator tegangan tinggi. Laporan Akhir Proyek DIP Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI. 2004: 36-49.
6. Raabe D, **Pramono AW.** Report on copper-niobium research at the Max-Planck-Institut Düsseldorf-simulations and experiments, Max-Planck Project Report, 2004.
7. **Pramono AW.** The study of microstructures, tensile ability, and hardness of arc-cast and floating zone of K-5, Al-53Ti, and Al<sub>2</sub>Ti. Training Report on Intermetallic Materials at the Department of Materials Science and Engineering-Kyoto University, Japan. 1995.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Data Pribadi

Nama : Andika Widya Pramono  
Tempat, Tanggal Lahir : Jakarta, 13 Maret 1970  
Anak ke- : 3 dari 4 Bersaudara  
Jenis Kelamin : Pria  
Nama Ayah Kandung : Zainal Abidin Haris  
Nama Ibu Kandung : Umi Rusminah  
Nama Istri : Dian Fatmita Sandra Setiawaty Andries  
Jumlah Anak : 2  
Nama Anak : 1. Andrew Filbert Dary Pramono  
2. Andrien Varian Hilmy Pramono  
Nama Instansi : Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Judul Orasi : Pengembangan Material Superkonduktor dan Biokompatibel untuk Meningkatkan Kemandirian Alat Kesehatan MRI dan Implan Tulang di Indonesia  
Bidang Kepakaran : Teknik Material  
No. SK Pangkat Terakhir : 43/M Tahun 2019  
No. PAK Peneliti Ahli Utama : 0001/D.1/IV/2019, 30 April 2019

## B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1	SD	SDN Kebon Baru 05 Pagi	Tebet, Jakarta	1982
2	SMP	SMP Negeri 3	Tebet, Jakarta	1985
3	SMA	SMA Negeri 8	Tebet, Jakarta	1988
4	S1	Wayne State University	Detroit–Michigan, Amerika Serikat	1992
5	S2	Wayne State University	Detroit–Michigan, Amerika Serikat	1993
6	S3	RWTH Aachen University	Aachen–Nordrhein Westfalia, Jerman	2000

## C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/Negara	Tahun
1	Pra Jabatan (II):	Jakarta	1989
2	<i>LIPI-JSPS Research Training Program: Research Training on Aluminum-Titanium Intermetallics</i>	Kyoto, Jepang	1995
3	Diklatpim Proyek: Pendidikan Dan Pelatihan Pemimpin Proyek Tahun Anggaran 2002	Jakarta	2002
4	<i>Research Training and Collaboration on Biocomposite Materials</i>	Düsseldorf, Jerman	2005
5	SPAMA / Diklatpim TK.III: Diklatpim Tk. III LIPI	Cisarua	2007
6	<i>Short-Term Course about “Superconducting Materials Development: Current Status and Future Directions”</i>	Chicago, Amerika Serikat	2008
7	<i>Computational Materials Design (CMD) Workshop</i>	Osaka, Jepang	2011

<b>No.</b>	<b>Nama Pelatihan/Pendidikan</b>	<b>Tempat/Kota/Negara</b>	<b>Tahun</b>
8	<i>Research Training on Micro-texture Analysis of P/M Consolidated Niobium-Tin Intermetallic Compound</i>	Aachen, Jerman	2011
9	ISO 19011:2011: Pelatihan Audit Internal Berbasis ISO 19011:2011 untuk Pemenuhan SNI ISO 9001:2008	Tangerang Selatan	2013
10	<i>Training ESQ: Leadership from Heart</i> , Jakarta Angkatan 003	Jakarta	2013
11	<i>Training ESQ: Communication from Heart</i> , Jakarta Angkatan 005	Jakarta	2013
12	<i>ESQ Leadership Training: ESQ Character Building I</i>	Jakarta	2013
13	<i>LIPi – Leadership Development Program (LDP)</i>	Jakarta	2013
14	<i>Training Course: Research Management And Leadership Training Course</i>	Ede, Belanda	2013
15	Diklat: <i>Training of Trainers (ToT)</i> Widyaiswara Luar Biasa/ Fasilitator Diklat Jabatan Fungsional Peneliti Berjenjang	Cibinong	2013
16	<i>Research Training on Micro-texture Analysis of As-Drawn Niobium-Tin Intermetallic</i>	Aachen, Jerman	2014
17	Pendidikan dan Pelatihan Kepemimpinan (Diklatpim) Tk. II	Jakarta	2016
18	<i>Training of Trainers (ToT)</i> Widyaiswara Luar Biasa/Fasilitator Diklat Jabatan Fungsional Peneliti Berjenjang	Cibinong	2017

<b>No.</b>	<b>Nama Pelatihan/Pendidikan</b>	<b>Tempat/Kota/Negara</b>	<b>Tahun</b>
19	<i>Erasmus Mobility Program</i> at Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture - University of Zagreb-Croatia in R&D of Biocompatible Implant Materials	Zagreb, Kroasia	2018
20	<i>Training of Trainers (ToT):</i> Program Penguatan Kapasitas Pemimpin Indonesia dalam Rangka <i>Making Indonesia 4.0</i> di Lemhannas	Jakarta	2018
21	<i>Research Training and Collaboration on Biodegradable Implant Materials of Magnesium Alloy</i> at Foundry Institute–RWTH Aachen	Aachen, Jerman	2018
22	Pelatihan <i>Reviewer</i> Penelitian Angkatan XII Tahun 2019 yang diselenggarakan oleh Dirjen Penguatan Litbang–Kemenristekdikti bekerja sama dengan Pusdiklat–Kemenristekdikti	Bogor	2019

#### **D. Jabatan Struktural**

<b>No.</b>	<b>Jabatan/Pekerjaan</b>	<b>Nama Instansi</b>	<b>Tahun</b>
1	Kepala Bidang Metalurgi Fisik dan Manufaktur	Pusat Penelitian Metalurgi LIPI	2006–2008
2	Kepala Bidang Konservasi Bahan	Pusat Penelitian Metalurgi LIPI	2008–2010
3	Plt. Kepala Pusat Penelitian	Pusat Penelitian Metalurgi LIPI	2010–2012

4	Kepala Pusat Penelitian	Pusat Penelitian Metalurgi LIPI	2012–2014
5	Kepala Pusat Penelitian	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	2014–2019

### E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT
1	Asisten Peneliti Muda Golongan III/b	16 Juli 1996
2	Peneliti Muda Golongan III/c	14 Maret 2005
3	Peneliti Ahli Madya Golongan III/d	30 Desember 2005
4	Peneliti Ahli Madya Golongan III/d	17 Maret 2009
5	Peneliti Ahli Madya Golongan IV/a	30 November 2011
6	Peneliti Ahli Madya Golongan IV/c	7 November 2014
7	Peneliti Ahli Utama Golongan IV/d	24 Juli 2019

### F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1	Koordinator Kegiatan Kompetitif LIPI: <i>Advanced Materials</i> dan Nanoteknologi LIPI	LIPI	2009–2010
2	Penanggung Jawab Pengurus Majalah <i>Korosi</i>	Pusat Penelitian Metalurgi LIPI	2009–2010
3	Pengajar mata kuliah: Metalurgi Fisik Teknik Pengolahan Bahan Material Teknik <i>Metal Matrix Composites</i> <i>Failure Analysis</i> Metodologi Penelitian	Sekolah Tinggi Teknik–PLN, Jakarta	2002–2019
4	Anggota Tim Panelis Monev Kompetitif LIPI: <i>Advanced Materials</i> dan Nanoteknologi	LIPI	2011–2014



<b>No.</b>	<b>Jabatan/Pekerjaan</b>	<b>Pemberi Tugas</b>	<b>Tahun</b>
5	Staf Ahli Ketua STT PLN Bidang Penelitian–Sekolah Tinggi Teknik (STT)–PLN Jakarta	STT PLN	2011–2019
6	Penanggung Jawab Pengurus Majalah <i>Metalurgi</i>	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	2010–2019
7	<i>Reviewer</i> Artikel Jurnal Makara Seri Teknologi yang berjudul: “Pengaruh Variasi Temperatur Tempering terhadap Sifat Mekanik dan Mikro Struktur pada Baja Mangan Hadfield AISI 3401 Hammer Clinker Cooler PT Semen Gresik”	Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat–Universitas Indonesia	2013
8	Penanggung Jawab Kepanitiaan Seminar Nasional Metalurgi dan Material	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	2010–2016
9	Penanggung Jawab Kepanitiaan Seminar Internasional Metalurgi dan Material	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	2017–2019
10	Pembimbing II dan Penguji Seminar dan Ujian Thesis Mahasiswa Program Pascasarjana Jurusan Teknik Fisika–ITS Surabaya: Judul TA: “Modeling Interdifusi Niobium (Nb) dan Timah (Sn) dalam Pembentukan Senyawa Nb <sub>3</sub> Sn”	Dekan Fakultas Teknologi Industri ITS	2013

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
11	Juri utama dalam <i>the Occasion of Essay Competition in Indonesia Chemical Engineering Challenge 2015</i> “Analysis of Current Deposits, Condition and Potential for the Development of Industrial Minerals and Materials in Southeast Asia Region”	Institut Teknologi Bandung	2014–2015
12	Anggota Dewan Juri Lomba Karya Ilmiah Remaja (LKIR) 2015 LIPI: Bidang Ilmu Kebu- mian dan Kemaritiman	LIPI	2015
13	Anggota Delegasi LIPI (bersama Kepala LIPI dan Wakil Kepala LIPI) dalam Inisiasi Kerja Sama Litbang dengan National Academy of Sciences–Belarus (NASB) dan University of Zagreb-Croatia	LIPI	2016
14	Anggota Tim (Narasi dan Penanggung Jawab Data) Penyusunan Buku <i>50 Tahun Kiprah LIPI untuk Bangsa</i>	LIPI	2016–2017

<b>No.</b>	<b>Jabatan/Pekerjaan</b>	<b>Pemberi Tugas</b>	<b>Tahun</b>
15	Penilai Ahli dalam Presentasi Ilmiah Peneliti Drs. Sulistioso Giat Sukaryo, MT dengan Judul: “Sintesis dan Rekayasa Permukaan Paduan Co-Cr-Mo sebagai Bahan Lutut Buatan dan Karakterisasinya dengan Teknik Nuklir”	Kepala Biro Sumber Daya Manusia dan Organisasi Batan	2017
16	Anggota Tim Penyusun Soal Kompetensi Bidang Jabatan Fungsional Peneliti	LIPI	2015
17	Penyusun dan Fasilitator Modul “Manajemen Litbang” Diklat Jabatan Fungsional Peneliti Berjenjang	Pusbindiklat LIPI	2017
18	Anggota Delegasi LIPI pada International Indian Ocean Science Conference 2017 di Perth, Australia	Deputi Bidang Ilmu Pengetahuan Kebumihan LIPI	2017
19	Anggota Tim Penyusun Soal Kompetensi Bidang Jabatan Fungsional Peneliti	LIPI	2019
20	Penyusun Modul “Tim Efektif” Diklat Peneliti	Pusbindiklat LIPI	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1	<i>LIPI-JSPS Research Training Program on Al<sub>2</sub>Ti Intermetallic Compound</i>	<i>Trainee</i>	Kyoto University, Jepang	1995
2	Kegiatan Tematik DIP Penelitian dan Pengembangan Magnet Fe-Nd-B	Anggota	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia	2002–2003
3	Kegiatan Tematik DIP Penelitian dan Pengembangan Kawat Komposit <i>in-situ</i> Cu-18%Nb	<i>Principal Investigator</i>	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia	2003–2008
4	Kegiatan Penelitian Indonesia Toray Science Foundation (ITSF) dengan topik "Microstructures, Mechanical Properties, and Electrical Conductivity of Intermediately Heat Treated Copper-18% Niobium Wires"	<i>Principal Investigator</i>	ITSF, Jakarta, Indonesia	2003–2004

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
5	Kegiatan Penelitian LIPI-JSPS dengan Tohoku University Biomedical Engineering Research Organization (TUBERO) dengan judul "Material development for bio-medical devices"	<i>Principal Investigator</i>	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia Tohoku University, Jepang	2005–2007
6	<i>DAAD Wiedereinladungsprogram: Research Training and Collaboration on Biocomposite Materials</i>	<i>Trainee</i>	Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf, Jerman	2005
7	Kegiatan Penelitian Indonesia Toray Science Foundation (ITSF) dengan topik " <i>Investigation on the Interdiffusion Process between Nb and Sn along with the Formation of Nb<sub>3</sub>Sn</i> "	<i>Principal Investigator</i>	ITSF, Jakarta, Indonesia	2006–2007
8	Kegiatan Penelitian Pengembangan Superkonduktor Cu-Nb <sub>3</sub> Sn Berbasis Timah Indonesia	<i>Principal Investigator</i>	PT Timah (Persero) Tbk.	2005–2011

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
9	<i>Short-Term Course</i> “Superconducting Materials Develop- ment:Current Status and Future Direc- tions”	<i>Trainee</i>	Chicago, Amerika Serikat	2008
10	Sub-Kompetitif LIPI: <i>Advanced Materials</i> dan Nanoteknologi	Koordinator Sub-Kom- petitif	LIPI, Jakarta, Indonesia	2009– 2010
11	Kegiatan Tematik DIPA Penelitian Kawat Superkonduk- tor Nb <sub>3</sub> Sn dengan Metode Internal Tin untuk Aplikasi Me- dan Magnet Tinggi	<i>Principal Investigator</i>	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia	2010
12	Kegiatan Program Insentif Peneliti dan Perekayasa dengan Topik Pengembangan Modeling Komputer Berbasis Persamaan Cahn-Hilliard ten- tang Evolusi Fasa pada Suhu Tinggi dari Bahan Su- perkonduktor Cu- Nb-Sn	<i>Principal Investigator</i>	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia	2010
13	<i>Computational Mate- rials Design (CMD)</i> <i>Workshop</i>	<i>Trainee</i>	Osaka, Jepang	2011

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
14	<i>Research Training on Trainee Microtexture Analysis of P/M Consolidated Niobium-Tin Intermetallic Compound</i>		Aachen, Jerman	2011
15	Kegiatan Tematik DIPA Pengembangan Material Implan Biokompatibel	Anggota	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia	2012–2019
16	Kegiatan Tematik DIPA Pengembangan Material Superkonduktor Suhu Tinggi	Anggota	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia	2013–2019
17	Kegiatan Pengembangan Karbon untuk <i>Bioscaffold</i>	Anggota	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI, Tangerang Selatan, Indonesia Powder Metallurgy Institute, National Academy of Sciences Belarus	2014–2015
18	<i>DAAD Wiedereinladungsprogram: Research Training and Collaboration on Biodegradable Mg-Alloy</i>	<i>Trainee</i>	Giesserei-Institut RWTH Aachen University, Jerman	2018

## H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1	<i>Metalurgi</i>	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	Penanggung Jawab	2017–2019
2	<i>Metalurgi</i>	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	Penanggung Jawab dan Editor	2014–2016
3	<i>Jurnal Makara Seri Teknologi</i>	Universitas Indonesia	<i>Reviewer</i>	2013
4	<i>Korosi</i>	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	Penanggung Jawab	2009–2010

## I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	13
2	Bersama Penulis Lainnya	42
Total		55

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Bahasa Indonesia	29
2	Bahasa Inggris	26
3	Bahasa Lainnya	0
Total		55

## J. Pembinaan Kader Ilmiah

### Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1	Pius Sebleku, S.T.	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	Pembimbing Jabatan Fungsional	2003–2018



2	Dr. Agung Imaduddin, M.Eng.	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	Pembimbing Jabatan Fung- sional	2014– 2019
3	Bintoro Siswayanti, S.T., M.Si.	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	Pembimbing Jabatan Fung- sional	2014– 2019
4	Hendrik, M.Sc.	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	Pembimbing Jabatan Fung- sional	2014– 2019
5	Sigit Dwi Yudanto, M.Si.	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	Pembimbing Jabatan Fung- sional	2014– 2019
6	Heri Nugraha, S.T.	Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI	Pembimbing Jabatan Fung- sional	2017– 2019

### Mahasiswa

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1	Cahyo Sutowo, S.T., M.T.	Universitas Indonesia	Ko-Promotor Bimbingan Disertasi S3	2018– 2019
2	Nanang Kurniawan	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
3	Rama Jatmiko Nugraha	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
4	Yohanes TP Situngkir	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
5	Novit D. Kristianto	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
6	Indra Daniel Nababan	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
7	Mukhamad Amir Bikri	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019

8	Januarious Velix Ta'an Hala	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
9	Bill Rewata	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
10	Afrianto Widiprakoso	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
11	Maulizar	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
12	Arif Rahman	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
13	Egi Permana	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
14	Gemmario Koldam Pandong	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
15	M. Iqbal Pratama	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
16	M. Alif Dirgantara Rabbani	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
17	M. Budi Purnomo	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
18	Ryan Fitriandhani	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
19	Zakharia Lele	Sekolah Tinggi Teknik-PLN	Pembimbing Skripsi S1	2019
20	Kholifatul Aniswatin, S.T.	Institut Teknologi Sepuluh Novem- ber	Pembimbing Tesis S2	2013
21	Ari Mas Hangga	Institut Teknologi Sepuluh Novem- ber	Pembimbing Tesis S2	2013

## K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1	Anggota	Materials Research Society–Indonesia (MRS–INA)	2017–sekarang
2	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo)	2013–sekarang
3	Dewan Pakar	Masyarakat Biomaterial Indonesia	2013–sekarang

## L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Satyalancana Karya Satya X Tahun	Presiden Republik Indonesia	1999
2	Satyalancana Karya Satya XX Tahun	Presiden Republik Indonesia	2009
3	Satyalancana Karya Satya XXX Tahun	Presiden Republik Indonesia	2019



## **LIPI Press**

Gedung PDDI LIPI, Lantai 6  
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710  
Telp. (+62 21) 573 3465  
E-mail: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)  
Website: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id)



Buku ini tidak diperjualbelikan.