



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
BIDANG SENSOR**

**PENGEMBANGAN SENSOR BERBASIS  
TEKNOLOGI MIKROELEKTRONIKA  
UNTUK PEMANTAUAN PENCEMARAN  
LINGKUNGAN**



**OLEH:  
GOIB WIRANTO**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA  
JAKARTA, 27 AGUSTUS 2020**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PENGEMBANGAN SENSOR BERBASIS  
TEKNOLOGI MIKROELEKTRONIKA  
UNTUK PEMANTAUAN PENCEMARAN  
LINGKUNGAN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

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 SENSOR**

**PENGEMBANGAN SENSOR BERBASIS  
TEKNOLOGI MIKROELEKTRONIKA  
UNTUK PEMANTAUAN  
PENCEMARAN LINGKUNGAN**

**OLEH:  
GOIB WIRANTO**

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA  
JAKARTA, 27 AGUSTUS 2020**

© 2020 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)  
Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pengembangan Sensor Berbasis Teknologi Mikroelektronika untuk Pemanfaatan Pencemaran Lingkungan/Goib Wiranto. Jakarta: LIPI Press, 2020.

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

ISBN 978-602-496-142-8 (cetak)  
978-602-496-143-5 (e-book)

1. Sensor  
3. Pencemaran Lingkungan

2. Mikroelektronika

681.2

*Copy editor* : Sonny Heru Kusuma  
*Proofreader* : Fadly Suhendra  
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima  
Desainer Sampul : D.E.I.R. Mahelingga

Cetakan : Agustus 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



Goib Wiranto, lahir di Madiun, Jawa Timur, 30 Desember 1969, adalah putra keempat dari lima bersaudara. Terlahir dari pasangan Bapak Soejatin (alm.) dan Ibu Suyatmi (alm.). Menikah dengan Jetri Muljanti dan dikaruniai tiga anak, yaitu Ryan Syahputra Wiranto, S.T., Denny Unisaputra Wiranto, dan Shenny Oktaviana.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 159/M Tahun 2013 tanggal 27 Desember 2013, yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai tanggal 1 Maret 2013.

Berdasarkan Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Nomor 173/A/2020 tanggal 10 Agustus 2020 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Madiun Lor VIII Madiun, tahun 1982; Sekolah Menengah Pertama Negeri 3 Madiun, tahun 1985; dan Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Madiun, tahun 1988. Memperoleh gelar Sarjana Bachelor of Science in Electrical Engineering (BSEE) dari Michigan Technological University tahun 1993 dan gelar Doktor bidang Electronic Engineering dari University of South Australia tahun 2001.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: *International Scientific Instrument Technology Workshop* di Taiwan (tahun 2005, 2006, dan 2009); VLSI Testing di Filipina (tahun 2008); Perencanaan Strategis

Program Rekayasa Material *Solar Cell* Berbasis Silikon Polikristal dalam Mendukung Efisiensi dan Pengembangan Energi Baru Terbarukan di Prancis (tahun 2015), *Tailor Made Course on the Fabrication of Solar Module Based on Dye-Sensitized Solar Cells* di Swedia (tahun 2016); dan *Tailor Made Course on Nano Biosensor for Biomedical and Health Monitoring: Fabrication and Characterization* di Jerman (tahun 2017).

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Seksi Pelayanan Teknis (tahun 1994–1996) dan Kepala Bidang Bahan dan Komponen Mikroelektronika (tahun 2008–2014).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/a tahun 1995, Peneliti Ahli Muda golongan III/d tahun 2004, Peneliti Ahli Madya golongan IV/b tahun 2004, Peneliti Ahli Madya golongan IV/c tahun 2007, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d bidang Teknik Elektronika dan Elektro tahun 2014.

Menghasilkan 106 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain, dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 43 KTI ditulis dalam bahasa Inggris. Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai Ketua Kelompok Penelitian Smart Sensor di PPET LIPI; pembimbing skripsi (S1) pada Universitas Pendidikan Indonesia (UPI), Universitas Padjadjaran (Unpad), Institut Teknologi Nasional (Itenas), dan Universitas Komputer (Unikom); pembimbing tesis (S2) pada Universitas Indonesia (UI) dan Institut Teknologi Bandung (ITB); serta pembimbing disertasi (S3) pada Universitas Indonesia (UI).

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai Ketua Konsorsium DSSC (Dye Sensitized Solar Cells) (2013); anggota Himpunan Fisika Indonesia (HFI) (2002–2003); IEEE (Institute

of Electrical and Electronics Engineers) (2007–2011); dan Himpenindo (2019).

Menerima tanda penghargaan *Certificate of Merit in Fundamental Concepts of Mathematics I* (Tahun 1992); *Certificate of Merit in Numerical Linear Algebra* (tahun 1992); Best Presenter Award (tahun 2015 dan 2016); dan Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2003) serta Satyalancana Karya Satya XX Tahun (tahun 2009) dari Presiden RI.



Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS .....	v
PRAKATA PENGUKUHAN.....	xi
I PENDAHULUAN .....	1
II PERKEMBANGAN TEKNOLOGI MIKROELEKTRONIKA DAN MATERIAL UNTUK FABRIKASI SENSOR PENCEMARAN LINGKUNGAN .....	5
2.1 Teknologi <i>Thick Film</i> .....	5
2.2 Teknologi <i>Thin Film</i> .....	8
2.3 Teknologi <i>Micromachining</i> /MEMS .....	11
III RANCANG BANGUN SENSOR BERBASIS <i>SOLID-STATE</i> UNTUK PEMANTAUAN PENCEMARAN LINGKUNGAN .....	14
3.1 Sensor Gas.....	14
3.2 Sensor Kualitas Air .....	17
IV PROSPEK PEMANFAATAN SENSOR BERBASIS TEKNOLOGI MIKROELEKTRONIKA.....	20
4.1 Pemantauan Lingkungan.....	20
4.2 Pertanian Modern ( <i>Smart Agriculture</i> ) .....	22
4.3 Perikanan Budidaya (Akuakultur) .....	24
V KESIMPULAN .....	26
VI PENUTUP .....	28
UCAPAN TERIMA KASIH .....	29
DAFTAR PUSTAKA.....	31
LAMPIRAN.....	39
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	47
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	61
DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....	62

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## PRAKATA PENGUKUHAN

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.*

*Assalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.*

Salam sejahtera untuk kita semua.

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

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur 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 SENSOR BERBASIS TEKNOLOGI  
MIKROELEKTRONIKA UNTUK PEMANTAUAN  
PENCEMARAN LINGKUNGAN”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## I. PENDAHULUAN

Pencemaran telah menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat besar bagi negara-negara berkembang di seluruh dunia, tidak terkecuali Indonesia. Menurut laporan Greenpeace Indonesia (2016), kerugian ekonomi akibat pencemaran di Kabupaten Bandung saja mencapai kurang lebih Rp11.4 triliun<sup>1</sup>. Kerugian ini akan lebih besar lagi bila ditambahkan dengan kerusakan lingkungan akibat perubahan iklim, buruknya sanitasi, dan berkurangnya lahan kehutanan. Dampaknya, akses terhadap sumber air bersih jadi semakin sulit akibat menurunnya fungsi dan kemampuan sumber-sumber daya air.

Mengingat besarnya bahaya yang dapat ditimbulkan akibat pencemaran maka pengendalian pencemaran merupakan hal penting yang harus mendapat perhatian, baik dari pemerintah maupun masyarakat. Tersedianya informasi tentang kondisi lingkungan sangat berguna untuk mengurangi dampak akibat bencana pencemaran. Untuk itu, diperlukan sistem pemantauan sebagai peringatan dini (*Early Warning System*) yang dapat mendeteksi potensi terjadinya pencemaran, mengidentifikasi jenis bahan pencemar, serta secara cepat dan akurat dapat memberikan informasi pada masyarakat dan pihak-pihak yang memiliki otoritas dalam mengambil keputusan untuk melakukan tindakan mitigasi.

Di berbagai negara, sistem peringatan dini untuk pencemaran lingkungan telah banyak dikembangkan. Sistem pemantauan dengan kemampuan pemrosesan data yang bersifat *real-time* telah menjadi bagian dari manajemen sumber daya air yang terintegrasi. Beberapa sistem dilengkapi dengan otomatisasi proses pengambilan *sample*, sistem pendeteksi *multiparameter*, dan IoT (*Internet of Things*) sebagai basis dalam pengumpulan

data<sup>2,3</sup>. Di Indonesia, model pemantauan pencemaran secara *online* telah diterapkan sejak tahun 2001, yaitu dengan dibangunnya 23 stasiun pemantau kualitas air di sepanjang Sungai Brantas, Jawa Timur. Stasiun-stasiun pemantau tersebut secara kontinu mengukur dan melakukan pengiriman data kualitas air secara langsung (*online*) ke sebuah stasiun master di Kota Malang menggunakan sistem telemetri<sup>4,5,6</sup>. Dengan sistem ini, pihak pengelola sungai Brantas, yaitu Perum Jasa Tirta I, dapat melakukan pengawasan terhadap sumber-sumber pencemaran secara otomatis dan terus-menerus selama 24 jam. Penerapan sistem seperti ini telah mengubah pola analisis pencemaran dari yang sebelumnya dengan pengambilan *sample* untuk diuji di laboratorium, menjadi otomatisasi data secara kontinu. Sistem pemantauan seperti di Sungai Brantas tersebut bisa dijadikan model untuk diterapkan di sungai-sungai besar lainnya yang ada di Indonesia. Bahkan bisa juga diterapkan untuk pemantauan kualitas udara di kota-kota besar, seperti Jakarta dan Bandung, dengan mengubah komponen pendeteksi kualitas air dengan komponen pendeteksi kualitas udara.

Penggunaan sistem pemantauan pencemaran secara *online* memiliki banyak keunggulan dibanding dengan teknik pemantauan secara konvensional. Selain efisiensi waktu karena data yang dihasilkan bersifat *real-time*, sistem *online* juga lebih murah karena memangkas biaya pengambilan sampel dan transportasinya ke laboratorium pengujian. Bahkan, dalam beberapa kondisi, sistem pemantauan *online* dapat diletakkan di lokasi yang *remote*, yang jauh dari sumber energi listrik dan dalam kondisi lingkungan yang ekstrem, sementara data harus mampu dikirimkan lintas lokasi geografis secara terus-menerus untuk kepentingan analisis. Dalam Gambar 1 dapat dilihat konsep

sistem pemantauan *online* kualitas (dan kuantitas) air yang diterapkan untuk memantau lingkungan seperti di Sungai Brantas.

Sistem pemantauan pencemaran *online* biasanya terdiri dari komponen sensor, pengolah sinyal (*data logger*), modul komunikasi (telemetry), serta sebuah pangkalan data (stasiun master). Dalam hal ini, sensor memegang peranan penting karena berfungsi sebagai tempat terjadinya interaksi langsung dengan bahan pencemar yang akan dideteksi. Sampai saat ini, berbagai jenis sensor telah digunakan dalam sistem pemantauan *online* untuk pencemaran lingkungan<sup>7</sup>. Untuk mendeteksi pencemaran udara biasanya digunakan sensor jenis semikonduktor berbasis metal oksida, sedangkan untuk mendeteksi pencemaran air banyak digunakan sensor yang berbasis *ion-selective* dan optikal. Dari berbagai jenis sensor yang telah digunakan dalam pemantauan lingkungan, sensor dengan teknologi *solid-state* memiliki kelebihan karena bentuknya yang *compact*, cara kerjanya sederhana, dan harganya relatif murah<sup>8</sup>. Selain itu, sensor *solid-state* juga bersifat *low-power* dan *life-time*-nya panjang sehingga sangat berguna untuk aplikasi pemantauan *mobile*. Yang paling menarik adalah sensor jenis *solid-state* dapat difabrikasi untuk mendeteksi beberapa parameter pencemaran secara sekaligus (*sensor multi-parameter*)<sup>9,10</sup>.

Sensor jenis *solid-state* biasanya berisi komponen metal oksida sebagai bahan sensitif atau *sensing* elektroda, seperti *Tin oxide* ( $\text{SnO}_2$ ), *Indium Oxide* ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ), *Tungsten Oxide* ( $\text{WO}_3$ ), *Ruthenium Dioxide* ( $\text{RuO}_2$ ), dan sebagainya. Penggunaan bahan metal oksida tersebut disesuaikan dengan jenis parameter pencemaran yang akan dideteksi, seperti  $\text{SnO}_2$  dan *Indium Tin oxide* (ITO) untuk mendeteksi gas CO, dan  $\text{RuO}_2$  untuk mendeteksi nilai pH dan DO (*Dissolved Oxygen*) dalam air<sup>11,12,13</sup>. Bahan metal oksida tersebut biasanya dalam bentuk pasta yang



dilapiskan menjadi *thick-film* melalui proses *screen-printing* di atas sebuah substrat. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi mikroelektronika, penumbuhan lapisan metal oksida yang lebih tipis (*thin-film*) bisa dilakukan melalui proses vakum, seperti *sputtering*. Dalam perkembangan lebih lanjut, substrat yang digunakan untuk sensor bisa dibentuk dengan teknologi *micromachining*, yaitu teknik pembuatan bentuk mikromekanik dengan cara yang sama dengan proses fabrikasi *Integrated Circuit* (IC). Selain menghasilkan divais dalam dimensi yang kecil (dalam skala mikro-milimeter), teknologi *micromachining* juga memungkinkan sensor difabrikasi sekaligus dengan komponen elektronik lainnya dalam satu substrat<sup>14</sup>. Oleh karena itu, *micromachining* sering juga disebut dengan teknologi *Micro-electromechanical Systems* (MEMs). Sampai saat ini, kombinasi antara teknologi MEMs dan *thin-film* telah menghasilkan sensor yang banyak diaplikasikan di berbagai bidang, seperti otomotif, biomedik, lingkungan, dan pertanian<sup>15</sup>.

Naskah orasi ini akan diawali dengan uraian singkat perkembangan teknologi fabrikasi sensor pencemaran lingkungan berbasis teknologi *thick-film*, *thin-film*, dan *micromachining*/MEMs. Sebagai kontribusi utama dalam kemajuan teknologi di tanah air, naskah orasi ini kemudian akan menjelaskan bagaimana teknologi *micromachining* dan *thin-film* bisa dimanfaatkan untuk fabrikasi sensor gas serta teknologi *thick-film* bisa dimanfaatkan untuk fabrikasi sensor kualitas air. Di bagian akhir, naskah orasi ini akan menjelaskan potensi pemanfaatan teknologi sensor, khususnya untuk bidang lingkungan, pertanian, dan perikanan.

## II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI MIKROELEKTRONIKA DAN MATERIAL UNTUK FABRIKASI SENSOR PENCEMARAN LINGKUNGAN

Perkembangan teknologi sensor tidak bisa dilepaskan dari perkembangan teknologi mikroelektronika, dalam hal ini proses fabrikasi *Integrated Circuit* (IC). Tidak lama setelah IC pertama kali ditemukan pada tahun 1958, orang mulai melakukan miniaturisasi komponen-komponen elektronika. Tujuannya untuk menghasilkan perangkat/instrumen yang *portable* sehingga mudah untuk dibawa ke mana saja. Miniaturisasi komponen elektronika, terutama sensor dan aktuator, dapat dilakukan berkat tersedianya material yang memiliki sifat elektromekanik yang sesuai untuk pembuatan sensor dan komponen elektronika lainnya. Bab ini menjelaskan status perkembangan teknologi mikroelektronika dan material yang digunakan untuk fabrikasi sensor pencemaran lingkungan.

### 2.1 Teknologi *Thick-Film*

Teknologi *thick-film* adalah teknik pembuatan lapisan yang didasarkan pada proses *screen-printing* sebuah material dalam bentuk pasta di atas sebuah substrat. Proses *screen-printing* dapat dilakukan dengan cara yang sederhana dan cepat, yaitu menggunakan *screen* yang sudah dipola dan meletakkan substrat di bawahnya. *Screen* yang digunakan bisa terbuat dari bahan *nylon*, *polyester*, atau *stainless-steel*, sedangkan substrat yang banyak digunakan biasanya adalah keramik. Selain bersifat *low-cost*, teknologi *thick-film* juga sangat fleksibel, memungkinkan untuk diautomatisasi, prosesnya *repeatable*, serta tersedia berbagai pilihan material yang dapat digunakan. Dalam Gambar 2a dan 2b dapat dilihat tahapan proses pembuatan sensor menggunakan

teknologi *thick-film* dan struktur sensor yang dihasilkan. Tiap lapisan dibuat menggunakan masker yang sudah dipola dengan proses fotolitografi. Setelah proses *screen-printing*, lapisan yang dihasilkan biasanya dipanaskan untuk menghilangkan unsur-unsur organik dalam pasta serta meningkatkan daya rekatnya pada substrat.

Teknologi *thick-film* mulai digunakan untuk pembuatan sensor sejak awal tahun 1980-an<sup>16</sup>. Berbagai jenis sensor telah dihasilkan menggunakan teknologi ini, di antaranya sensor gas, sensor elektrokimia, dan biosensor<sup>17,18,19</sup>. Umumnya, sensor-sensor tersebut memiliki elemen *heater*, elektroda, dan bahan sensitif yang sesuai dengan parameter yang akan dideteksi. Dalam penelitian sebelumnya ditunjukkan bahwa SnO<sub>2</sub> banyak digunakan mendeteksi gas CO, WO<sub>3</sub> untuk mendeteksi gas amonia (NH<sub>3</sub>), dan ZnO digunakan untuk mendeteksi gas metan (CH<sub>4</sub>)<sup>11,20,21</sup>. Pada umumnya, sensor gas yang berbasis metal oksida tersebut bekerja pada suhu operasi yang tinggi (di atas 100°C) sehingga memerlukan elemen *heater* untuk menaikkan temperatur substrat. Akibatnya, sensor gas dengan teknologi *thick-film* ini membutuhkan daya yang masih cukup tinggi, antara 200 mW–1 W.

Selain itu, sensor gas dengan bahan metal oksida juga memiliki sensitivitas rendah dan kurang selektif. Oleh karena itu, berbagai usaha telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja sensor gas metal oksida, di antaranya bahan metal oksida tersebut dapat didoping dengan unsur logam mulia, seperti platina (Pt) atau paladium (Pd), dalam persentase yang kecil. Penambahan unsur doping berfungsi sebagai katalis yang mempercepat proses interaksi antara molekul gas dan metal oksida<sup>22</sup>. Alternatif lain adalah menggunakan bahan metal oksida dengan dimensi butiran yang lebih kecil (dalam skala nano-meter) untuk meningkatkan

total luas permukaan lapisan sensitif sebagai tempat interaksi antara molekul gas dan metal oksida. Material dalam skala nanometer (*nanomaterial*) metal oksida dapat dihasilkan melalui proses *sol-gel*, dan kemudian dilapiskan dengan cara *printing* di atas elektroda sensor. Proses *sol-gel* sendiri merupakan metode yang umum digunakan dalam sintesa material. Selain sederhana, prosesnya juga dapat dilakukan dalam suhu ruang sehingga banyak digunakan untuk menghasilkan *nanomaterial* seperti *Indium Tinoxide* (ITO) dan  $\text{ZnO}^{23,24}$ .

Penggunaan elektroda *thick-film* lebih banyak dijumpai pada sensor untuk mengukur kadar kualitas air. Elektroda pada sensor kualitas air harus bersifat non-korosif dan memiliki nilai konduktivitas tinggi, seperti emas (Au) atau platina (Pt). Namun, harganya yang mahal telah membuat emas dan platina digantikan oleh perak paladium (AgPd) atau perak platina (AgPt)<sup>25</sup>. Elektroda *thick-film* berfungsi untuk membangkitkan sinyal sekaligus sebagai titik pengukuran perubahan parameter, seperti dalam sensor konduktivitas air. Dalam penelitian sebelumnya ditunjukkan bahwa AgPd sebagai bahan elektroda dapat digunakan untuk mengukur konduktivitas air sampai dengan 2.000 mS<sup>26</sup>. Dalam hal hasil pengukuran parameter harus dibandingkan dengan sebuah tegangan standar, elektroda dapat berfungsi sebagai referensi seperti dalam struktur sensor pH. Elektroda referensi dalam sensor pH biasanya terbuat dari bahan Ag/AgCl, yang dipilih karena stabilitasnya. Namun, bahan Ag/AgCl dalam bentuk pasta *thick-film* masih cukup mahal sehingga sebagai alternatif yang *low-cost* bahan Ag/AgCl dapat dihasilkan sendiri melalui proses klorinasi perak (*silver chlorinated*)<sup>27</sup>.

Seperti telah disebutkan sebelumnya, dalam teknologi *thick-film* terdapat proses pemanasan pasta pada temperatur tinggi (bisa hingga 850°C). Hal ini bisa menjadi persoalan apabila

struktur sensor memerlukan lapisan dari bahan seperti polimer yang tidak tahan panas. Sebagai contoh, sensor oksigen terlarut (DO) biasanya membutuhkan membran yang bersifat menyerap molekul oksigen dalam air. Dalam teknologi *thick-film*, membran padat yang terbuat dari bahan  $\text{TiO}_2$  telah terbukti dapat digunakan untuk sensor DO<sup>13</sup>. Dibanding dengan pengukuran kualitas udara, parameter kualitas air sangat dipengaruhi oleh perubahan temperatur. Oleh karena itu, sensor-sensor *thick-film* untuk kualitas air biasanya difabrikasi secara terintegrasi dengan sensor temperatur. Dalam Gambar 2c dapat dilihat divais sensor *thick-film* dengan elemen *heater* dan elektroda. Bahan yang umum dipakai untuk sensor temperatur adalah Pt atau  $\text{RuO}_2$ . Penggabungan dua sensor dalam satu substrat sangat dimungkinkan dalam teknologi *thick-film*. Bahkan dalam perkembangannya, teknologi *thick-film* saat ini telah memungkinkan menggabungkan sensor pH, konduktivitas, DO, dan temperatur dalam sebuah sistem sensor *multi-parameter* untuk kualitas air<sup>28</sup>.

## 2.2 Teknologi *Thin-Film*

*Thin-film* memiliki peranan yang sangat penting dalam teknologi mikroelektronika, khususnya dalam proses fabrikasi sensor. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai jenis material telah digunakan sebagai *thin-film* dalam fabrikasi sensor, seperti metal, semikonduktor, dan polimer<sup>29</sup>. Ketebalan lapisan *thin-film* biasanya hanya sampai beberapa mikrometer, dan proses penumbuhannya bisa dilakukan menggunakan berbagai macam teknik. Secara fisik, *thin-film* bisa ditumbuhkan melalui proses evaporasi atau *Molecular Beam Epitaxy* (MBE). Secara kimia, *thin-film* bisa ditumbuhkan melalui proses oksidasi, elektroplating, *spray-pyrolisis*, atau *Chemical Vapor Deposition* (CVD)<sup>30</sup>, sedangkan secara kimia-fisik, *thin-film* bisa ditumbuhkan melalui proses *sputtering*<sup>31</sup>. Dalam Gambar 3 dapat dilihat

tahapan proses pembuatan sensor menggunakan teknologi *thin-film*. Pembentukan struktur divais *thin-film* dilakukan setelah proses pelapisan melalui fotolitografi. Kemampuan proses fotolitografi menentukan resolusi dari divais sensor yang dibuat. Dalam banyak aplikasi, resolusi antara 5–10 mikrometer untuk divais *thin-film* sudah sangat umum, walaupun teknologi fotolitografi dewasa ini sudah sampai ke level nanoteknologi. Dibanding dengan *thick-film*, teknologi *thin-film* menghasilkan divais dalam dimensi yang jauh lebih kecil sehingga akan lebih ekonomis bila diproduksi secara massal. Selain itu, performa divais yang dihasilkan bisa lebih unggul (lebih sensitif, lebih cepat) karena jarak antarkomponen menjadi semakin dekat.

Fungsi lapisan *thin-film* dalam proses fabrikasi divais sensor bisa bervariasi. Sebagai contoh, lapisan tipis  $\text{SiO}_2$  banyak digunakan sebagai lapisan pelindung (*masking*) dalam proses etsa, atau bisa sebagai membran pada sensor *thermal*. Pada sensor gas, lapisan *thin-film* dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi berbagai jenis molekul gas dan *volatile organic compound* (VOC), termasuk oksigen, nitrogen dioksida, amonia, etanol, dan sebagainya<sup>32</sup>. Lapisan *thin-film* memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan *thick-film* sehingga reaksi antara molekul gas dan permukaan *thin-film* jadi lebih mudah terdeteksi. Biasanya, hasil reaksi ini berupa perubahan nilai resistivitas atau konduktivitas dari material *thin-film* tersebut. Dari penelitian sebelumnya ditunjukkan bahwa *thin-film* dari bahan metal oksida banyak digunakan untuk mendeteksi gas-gas polutan, seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{CH}_4$ <sup>12,33</sup>. Perubahan nilai resistansi material *thin-film* akibat perubahan lingkungan juga dipakai sebagai dasar dalam pembuatan sensor temperatur dan sensor *thermal conductivity* (TCD). Oleh karena itu, material dengan nilai *Temperature Coefficient of Resistance* (TCR) tinggi seperti platina (Pt), nikel (Ni), emas (Au), dan krom (Cr)

terbukti sangat bagus digunakan untuk sensor temperatur dan TCD<sup>34</sup>.

Penggunaan substrat dalam teknologi *thin-film* banyak didominasi oleh silikon (Si), walaupun substrat dari bahan lainnya seperti kaca (glass), kuarsa (*quartz*), galium arsenida (GaAs), *silicon carbide* (SiC), dan keramik juga mulai banyak digunakan. Substrat harus memiliki karakteristik yang dibutuhkan untuk menunjang pengoperasian sensor. Sebagai contoh, untuk sensor yang berbasis pada gelombang akustik, sifat *piezoelectric* dari substrat menjadi penting untuk menghasilkan frekuensi resonansi yang dibutuhkan. Penelitian sebelumnya menunjukkan penggunaan substrat AlN (*Aluminium Nitrate*) dalam divais *Surface Acoustic Wave* (SAW) dengan lapisan *thin-film* dari bahan emas dapat digunakan untuk mendeteksi kadar merkuri<sup>35</sup>. Sifat amalgam dari emas yang mengikat merkuri mengubah frekuensi resonansi yang dihasilkan oleh elektroda *thin-film* melalui substrat AlN.

Perbedaan proses deposisi *thin-film* akan menghasilkan material dengan karakteristik yang berbeda. Oleh karena itu, banyak studi dilakukan untuk mempelajari pengaruh berbagai parameter deposisi terhadap lapisan *thin-film* yang dihasilkan sebelum digunakan dalam fabrikasi divais sensor. Lapisan *thin-film* ZnO misalnya, yang ditumbuhkan dengan proses *spin-coating* menghasilkan sifat optimum untuk sensor gas dengan suhu *annealing* 450°C<sup>36</sup>. Sementara itu, Supriyanto *et al.* menunjukkan bahwa pengaruh temperatur cukup signifikan terhadap lapisan *thin-film* TiO<sub>2</sub>:Eu yang ditumbuhkan dengan metode *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD)<sup>37</sup>. Sampai saat ini, studi tentang karakteristik material *thin-film* dan proses penumbuhannya tetap menjadi subjek menarik untuk pe-

nelitian karena aplikasinya yang makin luas, seperti untuk divais penyimpan energi, divais magnetik, dan sebagainya<sup>38,39</sup>.

### 2.3 Teknologi *Micromachining*/MEMs

Teknologi *micromachining* adalah teknik pembuatan bentuk mikromekanik dengan cara yang hampir sama dengan proses fabrikasi IC. Dalam istilah lain, teknologi *micromachining* juga disebut dengan teknologi *Microelectromechanical System* (MEMs) karena kemampuannya dalam menggabungkan komponen elektronik dan struktur mikromekanik dalam satu substrat. Sejak pertengahan tahun 1970-an, *micromachining*/MEMs telah muncul sebagai teknologi yang inovatif untuk pembuatan divais sensor dan aktuator<sup>40</sup>. Basis dari teknologi ini adalah teknik pembuatan bentuk-bentuk 3-dimensi, seperti piramid, *channel*, *cantilever*, dan membran. Proses pembuatannya dilakukan dengan meng-etsa substrat silikon secara kimia menggunakan larutan, atau secara kering menggunakan *reactive ion etching*. Dalam proses etsa silikon menggunakan larutan seperti KOH (*Potassium Hydroxide*), CsOH (*Cesium Hydroxide*), TMAH (*Tetramethyl Ammonium Hydroxide*), dan EDP (*Ethylenediamine Pyrocatecol*), kecepatan etsa silikon monokristal akan berbeda (anisotropik) sesuai dengan orientasi bidang kristalnya<sup>41,42,43</sup>. Bidang kristal <100> dan <110> akan terkikis jauh lebih cepat dibandingkan bidang <111>, sementara penggunaan larutan lain seperti HNA (campuran antara HF, HNO<sub>3</sub>, dan CH<sub>3</sub>COOH) akan menghasilkan kecepatan etsa yang sama di semua bidang kristal (isotropik). Selain dengan proses etsa basah dan kering seperti yang telah disebutkan sebelumnya, pembuatan struktur dalam silikon, terutama *channel*, juga bisa dilakukan dengan teknik *la-*



*ser micromachining*<sup>44</sup>. Namun, cara ini jarang dilakukan karena sifatnya yang *non-preferential* terhadap orientasi kristal.

Kemampuan dalam menghasilkan berbagai bentuk ditambah dengan perkembangan teknologi *thin-film*, telah mendorong peneliti untuk melakukan miniaturisasi berbagai instrumen analisis yang dulunya dianggap kompleks, berukuran besar, kurang praktis, dan mahal, seperti sistem elektroforesis, kromatografi gas (GC), dan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Menggunakan bahan silikon yang di-etsa secara isotropik/anisotropik, miniaturisasi kolom kapiler dan sistem injeksi sampel dalam sistem GC sangat dimungkinkan, sebagaimana ditunjukkan dalam hasil-hasil penelitian sebelumnya.<sup>45,46,47</sup> Kolom kapiler dengan panjang sampai 1,2 m dan lebar 100  $\mu\text{m}$  dapat dibuat di atas silikon dengan ukuran 2 x 2  $\text{cm}^2$ . Sejak saat itu, berbagai penelitian terus dilakukan untuk meminiaturisasi sistem/instrumen analisis, baik secara modular maupun terintegrasi (*sample preparation, analysis, detection*) dalam bentuk sistem mikrofluida atau *Lab-on-Chip* (LoC)<sup>48</sup>.

Tersedianya material seperti silikon sangat penting dalam mencapai perkembangan teknologi *micromachining* sampai saat ini. Hal ini disebabkan karena silikon memiliki sifat elektromekanik yang sesuai untuk pembuatan sensor dan komponen elektronik. Sebagai contoh, silikon memiliki densitas 2,3  $\text{g}/\text{cm}^3$ , atau hampir sama dengan aluminium, yang berarti ringan dan bagus untuk pembuatan struktur sensor yang memerlukan getaran (vibrasi), seperti *cantilever*, *microtip*, dan sebagainya<sup>49,50</sup>. Selain itu, silikon memiliki *Thermal Expansion Coefficient* (TCE) sebesar  $2,6 \times 10^6/^\circ\text{C}$ , yang sangat sesuai dan dibutuhkan untuk proses enkapsulasi (*bonding*) secara elektrostatik dengan gelas

Pyrex (Corning 7740) dalam proses fabrikasi *microchannel* dan miniatur kolom kapiler<sup>51</sup>.

Seperti telah disebutkan sebelumnya, teknologi *thin-film* telah meningkatkan performa sensor gas karena dimensinya yang lebih kecil dibandingkan *thick-film*. Dengan teknologi MEMs, kinerja sensor *thin-film* dapat lebih ditingkatkan dengan penggunaan membran tipis untuk melokalisasi panas pada saat sensor gas bekerja. Membran tipis dari bahan  $\text{SiO}_2$  atau  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (*Silicon Nitrite*) dapat dibuat di silikon (100) melalui proses *micromachining* sebagai penyangga komponen elektroda dan pemanas pada sensor gas<sup>52</sup>. Karena ketebalan membran hanya beberapa mikro-meter, dibutuhkan daya yang sangat kecil (di bawah 10 mW) untuk menaikkan temperaturnya hingga di atas 200°C. Dengan demikian, bagian dari substrat silikon di luar daerah membran tidak terpengaruh panas, dan bisa dijadikan sebagai tempat fabrikasi komponen elektronik. Dalam Gambar 4 dapat dilihat tahapan proses pembuatan sensor dengan teknik *micromachining*. Konsep ini yang mendorong banyak penelitian dilakukan untuk menggabungkan sensor dan komponen elektronik pendukungnya dalam satu substrat. Bila itu dilakukan, keuntungan secara ekonomis akan didapat dan sistem yang dihasilkan menjadi lebih murah.

Terlepas dari keunggulan dan kelemahan masing-masing teknik, material yang digunakan dalam fabrikasi sensor masih banyak yang harus diimpor dari luar negeri. Material seperti alumina, silikon, galium arsenida, dan berbagai jenis pasta untuk teknologi *thick-film* (Pt, Ag, Ag/AgCl, AgPd, dan sebagainya.) sampai saat ini belum bisa diproduksi di dalam negeri.

### III. RANCANG BANGUN SENSOR BERBASIS *SOLID-STATE* UNTUK PEMANTAUAN PENCEMARAN LINGKUNGAN

Banyaknya produk sensor yang tersedia di pasaran dewasa ini membuktikan bahwa perkembangan teknologi fabrikasi sensor telah membuat harga jualnya semakin murah. Hal ini tentunya berdampak positif bagi penelitian dan pengembangan sistem, seperti pemantauan *online*, karena akses terhadap komponen sensor jadi lebih mudah terjangkau. Namun, hal ini juga sekaligus membuat ketergantungan yang semakin tinggi terhadap produk-produk sensor buatan luar negeri. Oleh karena itu, penguasaan terhadap metode rancang bangun sensor tetap dibutuhkan untuk meningkatkan kemandirian dalam bidang teknologi pemantauan *online*. Dalam bab ini akan dijelaskan teknologi rancang bangun sensor berbasis *solid-state* yang *low-cost* dan aplikatif untuk pemantauan pencemaran lingkungan.

#### 3.1 Sensor Gas

Dalam bab sebelumnya disebutkan bahwa sensor tipe *solid-state* memiliki banyak keunggulan dibanding dengan sensor konvensional. Oleh karena itu, banyak digunakan untuk pemantauan pencemaran lingkungan. Prinsip kerja sensor *solid-state* umumnya didasarkan pada proses elektrokimia, di mana material metal oksida akan berubah resistansi atau konduktivitasnya bila berada dalam lingkungan yang mengandung gas-gas polutan, akibat terjadinya proses penyerapan molekul gas. Dengan prinsip ini, rancang bangun sensor gas biasanya dimulai dengan pemilihan jenis material yang sesuai. Beberapa gas polutan bersifat oksidatif atau menaikkan nilai resistansi, sedangkan lainnya bersifat reduksi atau menurunkan nilai resistansi dari bahan metal oksida

yang digunakan. Perubahan ini dapat diukur dan selanjutnya digunakan untuk menentukan konsentrasi gas yang dideteksi.

Sebagai syarat terjadinya proses penyerapan molekul gas pada sensor elektrokimia, lapisan metal oksida harus berada pada temperatur yang cukup tinggi, biasanya antara 200–500°C. Untuk menghasilkan temperatur kerja setinggi ini, sensor gas metal oksida harus dilengkapi dengan elemen *heater* yang secara kontinu mengalirkan panas ke daerah aktif dari sensor tersebut<sup>53</sup>. Beberapa bahan dan teknik telah digunakan untuk menghasilkan struktur *heater* yang dapat menjaga kestabilan temperatur kerja sensor untuk jangka waktu yang lama. Material seperti perak (Ag), paladium (Pd), dan emas (Au) dapat digunakan sebagai bahan pembentuk *heater* dan elektroda sensor gas, namun semua masih memiliki persoalan yang terkait linearitas, stabilitas, dan *life-time*. Oleh karena itu, platina (Pt) merupakan pilihan terbaik karena memiliki nilai TCR (*Temperature Coefficient of Resistance*) yang sangat linier pada rentang temperatur yang lebar sehingga platina paling sering digunakan sebagai bahan *heater*, elektroda, dan sensor temperatur. Namun, harga platina masih terlalu mahal untuk pembuatan *low-cost* sensor sehingga fungsinya bisa digantikan oleh material lain yang lebih murah, seperti AgPt atau AgPd. *Heater* pada sensor gas *thin-film* biasanya difabrikasi bersamaan dengan pembuatan elektroda, namun bisa juga dibuat di sisi bawah substrat pada teknologi *thick-film*.

Metal oksida pada sensor gas berfungsi sebagai lapisan sensitif, yang merupakan bagian paling penting dari sensor. Di antara banyak material metal oksida, *Indium Tin oxide* (ITO) memiliki potensi yang bagus sebagai kandidat sensor gas CO. Selama ini, lapisan ITO banyak digunakan untuk aplikasi sel surya dan LED, dan masih sedikit dieksplorasi untuk aplikasi sensor gas. *Nanomaterial* ITO dapat disintesis menggunakan

proses *sol-gel* dari *Indium Nitride* ( $\text{In}(\text{NO}_3)_3$ ) dan *Tin Chloride* ( $\text{SnCl}_4$ )<sup>23</sup>. Sensitivitas *nanomaterial* ITO terhadap gas CO dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur *dopant* seperti  $\text{PdCl}_2$ . Metode *sol-gel* merupakan cara yang sederhana, namun dapat menghasilkan *nanomaterial* yang homogen, murni, dan dapat dilakukan pada suhu rendah. Oleh sebab itu, metode ini banyak digunakan untuk menghasilkan *nanomaterial* sensor lainnya, seperti  $\text{SnO}_2$  dan  $\text{ZnO}$ <sup>24</sup>. Meskipun penambahan unsur aditif (*dopant*) pada metal oksida dapat meningkatkan sensitivitas, namun selektivitas sensor atau kemampuan sensor dalam membedakan gas yang satu di antara campuran beberapa gas tetap menjadi persoalan tersendiri. Untuk mengatasi hal itu, metode yang dapat dilakukan adalah dengan membuat sensor *array*, yaitu dalam satu divais terdapat dua atau lebih lapisan metal oksida, dengan masing-masing memiliki sensitivitas yang berbeda-beda terhadap gas dalam campuran. Sinyal yang dihasilkan oleh masing-masing sensor kemudian dapat diolah menggunakan semacam jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*). Metode ini dikenal dengan istilah hidung elektronik (*electronic nose*), dan telah banyak diterapkan untuk mendeteksi aroma yang dihasilkan oleh makanan, minuman, dan kosmetik<sup>54</sup>.

Komponen utama dari sensor gas jenis elektrokimia biasanya terdiri dari elektroda, *heater*, dan lapisan metal oksida. Dalam teknologi *solid-state*, ketiga komponen tersebut dapat difabrikasi dalam satu substrat menggunakan satu tahapan proses fotolitografi. Dengan teknologi *thin-film*, pembentukan lapisan elektroda dan *heater* bisa dilakukan melalui proses *lift-off*, yaitu penghilangan lapisan metal menggunakan *fotoresist* sebagai lapisan antara (*sacrificial layer*)<sup>55</sup>. Dalam merancang divais sensor dengan teknologi *thin-film*, ukuran sensor akan ditentukan oleh kemampuan proses fotolitografi, yaitu resolusi atau kemampuan dalam membuat lebar jalur minimum dan jarak

minimum antarjalur. Dalam Gambar 5 dapat dilihat struktur mikrodivais sensor gas yang dibuat di atas substrat silikon, terdiri dari lapisan Pt/Ti sebagai bahan *heater*, elektroda dan sensor temperatur, serta *Indium Tinoxide* (ITO) sebagai lapisan sensitif terhadap gas CO<sup>56</sup>. Perlu diketahui bahwa proses fabrikasi mikrosensor ditujukan untuk menghasilkan divais fungsional semaksimal mungkin dalam satu *wafer* silikon. Bila ukuran divais 5 x 5 mm<sup>2</sup> maka dalam satu *wafer* silikon berdiameter 3-inch dapat menghasilkan maksimal 100 *chip*. Akan tetapi, biasanya persentase divais yang fungsional (*yield*) selalu di bawah 100%. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, di antaranya terjadinya pengotoran pada *wafer* silikon selama proses penyiapan, fabrikasi, dan penanganan (*handling*).

### 3.2 Sensor Kualitas Air

Dewasa ini, pemantauan kualitas air secara *online* membutuhkan sensor yang bersifat *robust*, yang tahan terhadap perubahan kondisi lingkungan secara ekstrem. Hal ini dikarenakan sifat polutan dalam air yang cenderung lebih agresif secara kimia sehingga dapat mengurangi *life-time* dari sensor yang digunakan. Dalam hal ini, sensor yang berbasis *thick-film* memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknologi *thin-film* dan MEMs. Selain lebih tahan lama, sensor *thick-film* juga lebih sederhana dan murah. Oleh karena itu, banyak sensor *thick-film* digunakan dalam sistem pemantauan kualitas air, seperti di sungai, danau, industri, dan akuakultur.

Salah satu parameter penting dari kualitas air adalah pH atau tingkat keasaman. Untuk mengukur kadar pH, biasanya dilakukan dengan sensor elektrokimia yang terdiri dari dua elektroda, yaitu elektroda kerja (*working electrode*) dan elektroda referensi (*reference electrodes*). Elektroda kerja berfungsi sebagai lapisan aktif yang terbuat dari bahan yang sensitif ter-

hadap perubahan pH, sedangkan elektroda referensi harus stabil terhadap perubahan pH, dan biasanya terbuat dari bahan Ag/AgCl. Dengan teknologi *thick-film*, elektroda sensor pH dapat di *screen-printing* di atas substrat alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) menggunakan bahan AgPd, dan sebagai lapisan aktif dapat digunakan *Ruthenium Dioksida* ( $\text{RuO}_2$ ) yang dilapisi dengan elektrolit dari bahan KCl. Untuk menghasilkan elektroda referensi Ag/AgCl, di atas lapisan AgPd dapat ditambahkan lapisan Ag, yang kemudian direaksikan dengan  $\text{FeCl}_3$  untuk menghasilkan lapisan AgCl. Teknik ini dapat menghasilkan divais sensor pH dengan sensitivitas  $-56 \text{ mV/pH}^{27}$ . Struktur divais sensor pH dan karakteristiknya dapat dilihat dalam Gambar 5.

Kandungan oksigen dalam air (DO) sangat vital bagi kelangsungan hidup organisme di dalamnya. Untuk itu, di semua sistem pemantauan kualitas air yang di dalamnya terkandung kehidupan akuatik, seperti akuakultur, pengukuran kadar DO menjadi keharusan. Sensor DO bekerja secara elektrokimia dengan mereduksi oksigen yang terlarut dalam air untuk menghasilkan arus listrik. Struktur sensor DO terdiri dari tiga elektroda, yaitu *working electrode*, *counter electrode*, dan *reference electrode* serta sebuah membran untuk menyerap oksigen. Fabrikasi sensor DO dengan teknologi *thick-film* dapat dilakukan dengan metode yang sama dengan sensor pH, di mana lapisan  $\text{RuO}_2$  digunakan sebagai *working electrode*, AgPd sebagai *counter electrode*, dan Ag/AgCl sebagai *reference electrode*. Untuk membuat membran yang dapat menyerap oksigen, dapat digunakan bahan  $\text{TiO}_2$  yang disintesis melalui proses *sol-gel*. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 6, teknik yang digunakan telah menghasilkan divais sensor DO dengan sensitivitas  $0.560 \mu\text{A l/mg}^{13}$ .

Pengukuran konduktivitas air banyak dilakukan terhadap air minum dan air tanah karena konduktivitas berhubungan langsung

dengan total *dissolved solids* (TDS) dalam air. Di bidang akuakultur, konduktivitas juga sangat penting karena banyak kehidupan akuatik yang tidak tahan terhadap perubahan konsentrasi ion secara tiba-tiba dalam air. Pengukuran konduktivitas air dapat dilakukan menggunakan dua elektroda dengan mengalirkan arus bolak-balik (AC) dan mengukur tegangan yang dihasilkan. Cara ini sudah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya, namun masih terdapat persoalan dengan linearitas dan polarisasi (akumulasi ion disekitar elektroda). Untuk mengatasi hal itu, struktur sensor konduktivitas dapat dibuat dengan konfigurasi empat elektroda, dari bahan AgPd yang di-*screen-printing* di atas substrat  $Al_2O_3$ .<sup>25</sup> Selain itu, karena konduktivitas air sangat dipengaruhi oleh temperatur maka dapat ditambahkan sensor temperatur dari bahan yang sama dalam satu substrat. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 7, sistem elektronik dan mikrokontroler kemudian digunakan untuk mengolah hasil pembacaan sensor agar dapat ditampilkan dalam unit konduktivitas (mS)<sup>26</sup>.



## IV. PROSPEK PEMANFAATAN SENSOR BERBASIS TEKNOLOGI MIKROELEKTRONIKA

Telah disebutkan dalam bab sebelumnya, sensor yang berbasis teknologi mikroelektronika telah banyak digunakan di berbagai bidang. Bab ini akan menjelaskan secara khusus prospek dari sensor *solid-state* yang digunakan untuk mengukur parameter pencemaran, namun aplikasinya bukan saja bidang lingkungan, melainkan juga bidang-bidang lain, seperti industri, pertanian, dan perikanan di Indonesia.

### 4.1 Pemantauan Lingkungan

Kebutuhan sensor untuk pemantauan lingkungan termasuk yang paling tinggi. Menurut segmentasinya, pemantauan lingkungan dapat dibagi dalam pemantauan sumber daya air, aktivitas industri, perumahan/bangunan, serta polusi udara. Di negara-negara berkembang, seperti Indonesia, ketergantungan terhadap sumber daya air makin hari makin besar seiring dengan bertambahnya populasi penduduk. Sumber daya air diperlukan untuk memenuhi kebutuhan air minum, aktivitas pertanian, perikanan, dan industri. Melihat kondisi itu, sensor untuk pemantauan diperlukan guna menjaga standar kualitas air sesuai dengan peruntukannya. Untuk kebutuhan air minum misalnya, Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492 Tahun 2010 menyebutkan tentang berbagai parameter kualitas air yang harus dipenuhi agar air minum olahan layak dikonsumsi masyarakat, misalnya kandungan unsur kimia anorganik seperti nitrit, nitrat, arsen, dan kromium; parameter fisik seperti kekeruhan, temperatur, dan total zat terlarut; serta parameter kimia seperti pH, amonia, dan besi. Hal ini mengharuskan semua industri pengolah air minum menerapkan sistem pemantauan sebelum air minum diedarkan ke masyarakat. Sensor *solid-state* dapat digunakan pada sistem

pemantauan jaringan pipa distribusi pengolahan air minum agar parameter kualitas air tersebut di atas dapat dipantau secara *real-time*<sup>57</sup>. Untuk itu, diperlukan kerja sama dengan industri-industri dan perusahaan-perusahaan daerah pengolah air minum (PDAM).

Pertumbuhan industri yang pesat telah menambah beban pada air permukaan, seperti air sungai, danau, rawa, dan waduk, karena limbah yang dikeluarkan setiap hari. Walaupun peraturan pemerintah (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68 Tahun 2016 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014) telah dikeluarkan untuk menetapkan standar baku mutu buangan air limbah domestik dan industri, namun masih banyak industri yang bahkan belum memiliki Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) tersendiri. Apabila kedua peraturan tersebut benar-benar dijalankan, kebutuhan sensor di industri untuk parameter seperti pH, BOD, COD, TSS, amonia, dan parameter spesifik lainnya (sesuai jenis industrinya), akan sangat besar. Dalam hal ini, kerja sama dengan pihak-pihak seperti Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah (Bapedalda) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) sangat diperlukan agar sensor *solid-state* dapat diaplikasikan dalam sistem pemantauan *off-line* di dalam IPAL atau secara *online* untuk memantau air permukaan<sup>58,59</sup>.

Saat ini, pembangunan kawasan perumahan dan gedung-gedung hunian (apartemen), perkantoran, dan pusat perbelanjaan marak dilakukan di mana-mana, terutama di kota-kota besar. Hal ini tentunya akan menyebabkan kebutuhan energi yang semakin besar di masa mendatang. Sayangnya, belum banyak pengelolaan gedung yang menerapkan konsep automasi pada bangunannya agar penggunaan energinya bisa lebih efisien. Sistem automatisasi pada gedung didasarkan pada sensor-sensor yang memantau kondisi lingkungan di dalamnya, seperti ventilasi dan

AC (HVAC) serta ruangan. Selanjutnya, data dari sensor akan mengaktifkan sistem kontrol secara otomatis untuk mengatur instrumen demi kenyamanan dan keselamatan penghuni. Dalam hal ini, sensor-sensor *solid-state* seperti, sensor temperatur, kelembapan (*humidity*), dan CO<sub>2</sub> akan banyak dibutuhkan di masa yang akan datang<sup>60</sup> sehingga dibutuhkan kerja sama dengan pengembang-pengembang gedung perkantoran, perbelanjaan, dan hunian modern, seperti apartemen dan *townhouse*.

Masalah polusi udara dewasa ini bukan cuma dialami di kota-kota besar saja. Polusi udara akibat kebakaran hutan di musim kemarau misalnya, bisa terjadi di berbagai penjuru Tanah Air. Dampaknya pun juga tidak kalah serius dengan polusi akibat emisi kendaraan bermotor. Sayangnya, penggunaan sistem pendeteksi dini kebakaran hutan masih sangat minim. Walaupun beberapa teknik pernah digunakan, seperti penggunaan kamera *surveillance* dan citra satelit, namun hasilnya masih kurang efektif. Untuk mengatasi hal itu, beberapa peneliti menggunakan jaringan sensor nirkabel (WSN), di mana sensor diletakkan di beberapa titik (*node*), dihubungkan dengan sistem komunikasi *wireless* untuk memberikan informasi secara kontinu tentang adanya perubahan kondisi lingkungan yang ekstrem. Dalam sistem WSN tersebut, banyak sensor *solid-state* yang diperlukan untuk mendeteksi perubahan temperatur dan kelembapan relatif (*relative humidity*)<sup>61</sup>. Berbagai pihak perlu dijajaki untuk kerja sama, seperti pemerintah daerah, perusahaan-perusahaan perkebunan, dan KLHK.

#### **4.2 Pertanian Modern (*Smart Agriculture*)**

Sebagai negara agraris dengan jumlah penduduk yang besar, pemerintah telah menetapkan ketahanan pangan sebagai salah satu program prioritas nasional (PN). Target tersebut dapat dicapai melalui peningkatan hasil pertanian secara berkelanjutan. Na-

mun, seiring dengan pertumbuhan populasi dan industrialisasi, berbagai persoalan akan muncul yang menghambat usaha peningkatan hasil pertanian, di antaranya lahan pertanian yang makin sempit, persediaan air yang makin berkurang, dan persaingan yang makin ketat dengan produk pertanian impor. Kondisi tersebut telah menempatkan petani Indonesia di posisi yang sulit untuk menghasilkan produk pertanian yang berdaya saing. Belum lagi kondisi cuaca yang tidak menentu seperti curah hujan yang tidak merata telah menyebabkan produk pertanian secara nasional sulit ditingkatkan.

Solusi yang memiliki potensi untuk diterapkan secara meluas dan jangka panjang, adalah menggunakan sistem irigasi cerdas (*smart irrigation*) yang berbasis jaringan sensor nirkabel (WSN)<sup>62</sup>. Sistem *smart-irrigation* terdiri dari modul sensor temperatur, kelembapan, *soil-moisture*, dan level air, yang dapat ditempatkan di beberapa titik di lahan pertanian untuk memantau kondisi tanah dan lingkungan yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Hasil pemantauan parameter-parameter tersebut akan dibaca menggunakan *data logger* secara *wireless*, yang sekaligus berfungsi sebagai pengendali kerja sistem irigasi. Selain ditampilkan secara *on-site*, data dari sensor dapat dikirimkan ke sebuah *web-server* untuk keperluan studi lebih lanjut, dan ke aplikasi *mobile* untuk keperluan pemantauan oleh pemilik usaha pertanian. Sistem akan dapat dimonitor dan dikontrol oleh pemilik usaha pertanian melalui *mobile application* berbasis Android. Setiap modul sensor mendapatkan sumber energi dari panel surya sehingga lebih praktis, efisien, dan ramah lingkungan. Dalam rangka penerapan sistem, kerja

sama perlu dilakukan dengan Kementerian Pertanian melalui Balai Penelitian Tanaman dan Sayuran (Balitsa).

### 4.3 Perikanan Budi Daya (Akuakultur)

Dalam bidang perikanan budi daya, udang merupakan salah satu produk ekspor yang memiliki volume dan nilai terbesar dibandingkan komoditas perikanan lainnya. Peluang Indonesia untuk meningkatkan ekspor udang ke pasar internasional sangat besar karena diprediksi konsumsi udang dunia akan terus meningkat sampai tahun 2025, sebesar 6,7% (Eropa), 7,2% (Asia Pasifik), dan 3,0% (Amerika Utara)<sup>63</sup>. Peluang tersebut harus dapat dimanfaatkan secara optimal oleh pengusaha udang di Indonesia untuk meningkatkan hasil produksi budi daya udang karena Indonesia memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia. Dalam proses budi daya udang, menjaga kualitas air agar tetap optimum merupakan kunci keberhasilan budi daya. Sampai saat ini, mayoritas proses budi daya udang di Indonesia masih dilakukan secara tradisional, dengan mengandalkan tenaga manusia untuk pengambilan sampel dan melakukan analisis kualitas air secara berkala. Cara ini tentu tidak praktis, selain mahal karena biaya tenaga kerja, juga kemungkinan terjadinya *human-error* masih cukup tinggi. Selain itu, penggunaan sistem aerasi (kincir) secara terus-menerus masih banyak dijumpai, dan tentunya mengakibatkan biaya listrik yang dikeluarkan menjadi mahal.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, dapat dilakukan dengan penggunaan sistem pemantauan *online*, yang dilengkapi dengan otomatisasi aerasi<sup>64,65,66</sup>. Beberapa sensor dapat digunakan untuk mengambil data parameter kualitas air seperti pH, DO, konduktivitas, dan temperatur, secara kontinu menggunakan sebuah *data logger*. Selain ditampilkan secara *on-site*, data yang diterima *data logger* kemudian dapat dikirimkan ke *web-server* dan *mobile phone* pengelola tambak (Gambar 8). Data parameter

kualitas air juga digunakan oleh *data logger* untuk menjalankan aerasi bila nilainya sudah dibawah ambang batas. Sistem seperti ini telah diterapkan di beberapa sentra budi daya udang di Pulau Jawa, Sumatra, dan Bangka Belitung. Diharapkan ke depan makin banyak sentra-sentra perikanan di Tanah Air yang menggunakan sistem *online* pemantauan seperti di atas, dan dengan kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) data yang diperoleh dapat dikelola secara terintegrasi, misalnya oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), untuk menghadapi tantangan persaingan pasar global yang semakin ketat.

## V. KESIMPULAN

Indonesia sebagai negara berkembang, ke depan masih akan menghadapi permasalahan serius akibat sumber-sumber pencemaran yang semakin kompleks. Dalam konteks itu, teknologi mikroelektronika punya peran penting dalam mengatasi persoalan lingkungan melalui sensor-sensor *solid-state* yang diimplementasikan dalam sistem pemantauan pencemaran secara *online*. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan sensor lingkungan yang berbasis pada teknologi *thick-film*, *thin-film*, dan *micromachining*/MEMs mesti terus dilakukan di tengah banyaknya produk-produk impor yang memenuhi pasar dalam negeri.

Dalam situasi keterbatasan infrastruktur fabrikasi sensor di Tanah Air saat ini, teknik-teknik yang bersifat *low-cost*, mulai dari proses sintesis *nanomaterial* metal oksida, penumbuhan lapisan (elektroda) sensor di atas substrat, dan metode rancang bangun sensor, dapat menjadi pilihan yang tepat. Dalam hal sintesis material sensor, proses *sol-gel* merupakan teknik yang sederhana namun dapat menghasilkan material dengan dimensi butiran yang kecil, homogen dan murni. Dari hasil studi selama ini, pengembangan sensor dengan teknologi *thick-film* lebih sesuai untuk aplikasi di lingkungan yang ekstrem dan *life-time*-nya singkat seperti sensor kualitas air, sedangkan teknologi *thin-film* dan MEMs lebih sesuai untuk aplikasi yang menghendaki kinerja tinggi, *low power*, dan *life-time* yang panjang, seperti sensor kualitas udara.

Potensi penggunaan sensor berbasis teknologi mikroelektronika sangat besar di masa mendatang, bukan hanya di bidang lingkungan, pertanian, dan perikanan, melainkan juga mencakup miniaturisasi instrumen-instrumen analisis yang selama ini

masih berukuran besar dan mahal. Hal ini dimungkinkan dengan teknik *micromachining*/MEMs menggunakan material seperti silikon (Si). Sayangnya, wafer silikon masih harus diimpor dari luar negeri, walaupun bahan baku untuk pembuatan silikon sangat banyak di tanah air. Oleh karena itu, penguasaan teknik rancang bangun sensor harus dibarengi dengan penguasaan teknologi pengolahan bahan baku silikon. Hal ini dimaksudkan agar divais yang dihasilkan memiliki nilai tambah secara ekonomi, selain harus lebih inovatif dan sederhana, sehingga dapat bersaing dengan produk-produk komersial.



## VI. PENUTUP

Lingkungan yang bebas pencemaran sudah seharusnya menjadi prioritas program pemerintah dalam beberapa tahun ke depan. Hal ini sejalan dengan masuknya era industri 4.0 dan mulai munculnya kesadaran untuk menggunakan alat transportasi ramah lingkungan, seperti kendaraan listrik. Dalam kondisi seperti itu, ditambah dengan pesatnya penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT), kebutuhan sensor akan semakin besar di masa yang akan datang. Aplikasi sensor akan merambah ke semua aspek kehidupan manusia. Di antara berbagai jenis sensor yang dapat diterapkan untuk pemantauan lingkungan, pertanian modern, dan peningkatan budi daya akuakultur, sensor jenis *solid-state* yang berbasis teknologi mikroelektronika memiliki banyak kelebihan. Teknologi *thick-film*, *thin-film*, atau *micro-machining*/MEMs merupakan pilihan teknologi fabrikasi sensor yang ada saat ini, sesuai dengan aplikasinya.

Melihat kondisi di atas, status teknologi mikroelektronika di tanah air menjadi sangat krusial. Kesiapan infrastruktur dan kesinambungan SDM yang menguasai teknologi ini merupakan tantangan besar yang harus dihadapi oleh pemerintah, akademisi, dan industri. Pemerintah melalui Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) perlu memberikan prioritas dalam program-program riset strategis nasional yang mendorong penguasaan teknologi sensor berbasis mikroelektronika dan menciptakan iklim sinergi antara dunia penelitian dan industri. Di lain pihak, peran industri juga perlu ditingkatkan untuk mulai memasuki pengembangan produk komponen sensor, mengingat tersedianya bahan baku material semikonduktor yang melimpah di tanah air.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah atas kehadiran Allah Swt., serta segala rahmat dan hidayah-Nya, pada hari ini saya telah menyampaikan naskah orasi ilmiah Profesor Riset. Dalam kesempatan ini, perkenankan saya menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada berbagai pihak yang telah membantu perjalanan karier saya sebagai peneliti di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Pertama, saya mengucapkan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia atas penetapan saya sebagai Peneliti 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. Ir. Gadis Sri Haryani; Tim penilai naskah Orasi sekaligus anggota Majelis, Prof. Dr. Estiko Rijanto, Prof. Dr. Nurul Taufiq Rochman, M.Eng., dan Prof. Dr. Budi Mulyanti; serta Panitia Pelaksana Pengukuhan yang telah menyelenggarakan pengukuhan profesor riset ini.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada Deputi IPT LIPI Dr. Eng. Agus Haryono; Sekretaris Utama LIPI Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A.; Kepala Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI Dr. Eng. Budi Prawara; Kepala BOSDM LIPI Dr. Heru Santoso, M.App.Sc.; serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya orasi ini.

Dalam perjalanan karier sebagai peneliti, saya banyak mendapatkan bimbingan, motivasi, dan dukungan dari berbagai pihak hingga bisa berada di puncak jenjang peneliti. Oleh karena itu, saya ingin secara khusus menyampaikan ucapan terima kasih dari hati yang dalam kepada pembimbing studi S3 saya

di University of South Australia, Prof. Dennis Mulcahy, Prof. Malcolm Harskard, dan Dr. David Davey; pimpinan PPET LIPI terdahulu Dr. Totok Soegandi M.Sc. dan Dr. Masbah Siregar. Selain itu, saya juga mendapatkan banyak pengalaman tentang sistem *online* pemantauan kualitas air selama menjalankan proyek *Brantas River Water and Quality Management*. Untuk itu, ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan pada Bapak Djoko Pitono, M.Sc. (*project director*), dan seluruh tim proyek Brantas.

Terima kasih yang tulus saya ucapkan pada teman-teman peneliti dan teknisi yang pernah bergabung di bidang Bahan dan Komponen Mikroelektronika (BKME) dan di kelompok penelitian Smart Sensor PPET LIPI yang telah banyak mencurahkan waktu bersama-sama di laboratorium mikroelektronika, khususnya I Dewa Putu Hermida M.T., Dr. Gandi Sugandi, dan Drs. Slamet Widodo. Juga kepada Pak Muljono, Ibu Grace A. Mambu, dan Bapak Benny Abdul Karim.

Kepada istri dan anak-anak tercinta yang telah sabar, ikhlas, dan setia menemani serta memberi semangat saya dalam susah, senang, sedih, dan bahagia selama menjalani karier sebagai peneliti, kiranya tidak ada kata-kata yang bisa menggambarkan seberapa besar saya harus katakan terima kasih kepada kalian semua.

Terakhir, saya ucapkan terima kasih kepada seluruh undangan yang telah meluangkan waktunya untuk hadir pada acara ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Birry AA, Meutia H. Konsekuensi tersembunyi: valuasi kerugian ekonomi akibat pencemaran industri. Greenpeace Indonesia, April 2016.
2. **Wiranto G**, Mambu GA, Hiskia, Hermida IDP, Widodo S. Design of online data measurement and automatic sampling system for continuous water quality pemantauan. Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Beijing 2015: 2331–2335.
3. Spandana K, Seshagiri Rao VR. Internet of Things (IoT) based smart water quality pemantauan system. International Journal of Engineering & Technology 2018; 7 (3.6): 259–262.
4. **Wiranto G**. Pemantauan kualitas air secara online: studi kasus sungai Brantas. Online water quality pemantauan: A case study on Brantas river. Jurnal Purifikasi 2005; 6 (1): 67–72.
5. **Wiranto G**. Manajemen sumber daya air di DAS Brantas. Inovasi 2006; 3: 20–21.
6. **Wiranto G**. Manajemen sumber daya air berdasarkan informasi hidrologi yang terintegrasi di DAS Brantas. Majalah Jasa Ilmiah Indonesia 2006; 2(1): 10–15.
7. Park I, Yang D, Kang K. MEMS/Nano-technologies for smart air environmental pemantauansensors. Journal of Sensor Science and Technology 2015; 24(5): 28–286.
8. **Wiranto G**. Kajian perkembangan teknologi rancang bangun sensor gas untuk emisi gas buang kendaraan bermotor. Prosiding Seminar Nasional Tenaga Listrik dan Mekatronika, Bandung 2006: 549 – 554.
9. Batara DS, **Wiranto G**, Tayubi YR. Fabrikasi dan karakterisasi elektroda detektor ph dan temperatur terintegrasi dalam satu lapisan substrat. Fibusi (Jurnal Online Fisika) 2015; 3(3).

10. Jadon N, Jain R, Sharma S, Singh K. Recent trends in electrochemical sensors for multianalyte detection—a review. *Talanta* 2016; 161: 894–916.
11. Hermida IDP, **Wiranto G**, Hiskia, Nopriyanti R. Fabrication of SnO<sub>2</sub> based CO gas sensor device using thick film technology. *Journal of Physics: Conference Series* 2016; 776(012061): 1–8.
12. Widodo S, **Wiranto G**. Perancangan dan pembuatan divais sensor gas CO berbasis indium timah oksida (ITO) dengan teknologi film tipis. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia* 2015; 17(1): 48–59.
13. **Wiranto G**, Widodo S, Hermida IDP, Manurung RV, Sugandi S, Arifin Z, Wiendartun. Design and fabrication of thick film dissolved oxygen sensor based on RuO<sub>2</sub> working electrodes for water quality pemantauan. *Materials Science Forum* 2018; 917: 59–63.
14. **Wiranto G**. Teknologi micromachining. *Proceedings of Seminar on Intelligent Technology and Its Applications*, ITS, Surabaya 2001: E1–E5.
15. Mishra MK, Dubey V, Mishra PM, Khan I. MEMS technology: a review. *Journal of Engineering Research and Reports* 2019; 4(1): 1–24.
16. Prudenziati M. Thick-film technology. *Sensors and Actuators A* 1991; 25–27: 227–234.
17. Hiskia, **Wiranto G**, Manurung RV. Rancang bangun elektroda antimony (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebagai sensor pH menggunakan teknik screen printing. *Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan*, Yogyakarta 2004: 141–148.
18. Mulyanti B, Manurung RV, **Wiranto G**, Suartini T, Nugroho P. The Design and fabrication of ion sensor electrodes using thick film technology. *Proceedings International Session of the 5<sup>th</sup> Electrical Power, Electronics, Communications, Control & Informatics International Seminar (EECCIS)*, Brawijaya University 2010: B4.

19. Honeychurch KC. Printed film biosensors. in Printed Films: Materials Science and Applications in Sensors, Electronics and Photonics, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials 2012: 366–409.
20. Hermida IDP, **Wiranto G**, Retnaningsih L. Desain sensor gas berbasis zinc oxide untuk mendeteksi gas carbon monoxide (CO) pada kendaraan bermotor. Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi 2009; 9(2): 52–59.
21. Garde AS. Gas sensing properties of  $\text{WO}_3$  thick film resistors prepared by screen printing technique. International Journal of Chemical and Physical Sciences 2016; 5(3): 1–13.
22. Mhlongo GH, Motaung DE, Cummings R, Swart HC, Ray SS. A highly responsive  $\text{NH}_3$  sensor based on Pd-loaded ZnO nanoparticles prepared via a chemical precipitation approach. Scientific Reports 2019; 9: 9881.
23. **Wiranto G**, Idayanti N, Retnaningsih L. Study on the synthesis of indium tin oxide (ITO) nanomaterial using sol gel process and its potential for CO gas detection. Journal of Physics: Conference Series 2016; 776: 012060 1–6.
24. Widodo S, **Wiranto G**. Sintesis seng oksida (ZnO) nano partikel sebagai bahan aktif pada sensor gas dengan metode sol gel. Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Iptek) Universitas Jenderal Ahmad Yani, Cimahi 2014: 350–356.
25. **Wiranto G**, Hermida IDP, Hiskia, Rama B, Rusdiana D. Liquid conductivity sensor based on AgPd paste fabricated on an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  substrate using screen printing technique. Materials Science Forum 2017; 887: 108–115.
26. **Wiranto G**, Hermida IDP, Prabowo BA, Manurung RV, Widodo S, Aji GP, Rahajoeningroem T. A low-cost instrument based on thick film sensors for measuring water conductivity and temperature. International Journal of Engineering & Technology 2018; 7(4.40): 1–4.

27. **Wiranto G**, Idayanti N, Tayubi YR, Barata DS. Design and fabrication of low-cost thick film pH sensor using chlorinated reference electrodes with integrated temperature sensor. *MATEC Web of Conferences* 2016; 40: 01001 (1–5).
28. Manez RM, Soto J, Breijo EG, Gil L, Ibanez J, Gadea E. A multi-sensor in thick-film technology for water quality control. *Sensors and Actuators A* 2005; 120: 589–595.
29. Mahmudin D, Daud P, Armi N, **Wiranto G**, Wijayanto Y N, Estu TT. Environmental liquid waste sensors using polymer multi-coupled ring resonators. *Proceedings of IEEE International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA)*, Kuala Lumpur 2015: 88–91.
30. Supriyanto E, **Wiranto G**. Struktur kristal, morfologi dan sifat optik film tipis  $\text{TiO}_2:\text{Eu}$  yang ditumbuhkan di atas Si (100) dengan metode MOCVD. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2009; 9(2): 41–47.
31. **Wiranto G**. Pengaruh suhu terhadap konduktivitas pada lapisan tipis platinum-titanium. *Indonesian Journal of Solid Conductor Materials* 2001; 2(1): 29–32.
32. Tharsika T, Thanichaichelvan M, Haseeb ASMA, Akbar SA. Highly sensitive and selective ethanol sensor based on ZnO nanorod on  $\text{SnO}_2$  thin film fabricated by spray pyrolysis. *Frontiers in Materials* 2019; 6(122): 1–9.
33. Davey DE, Han J, Mulcahy DE, Haskard MR, **Wiranto G**. The design and testing of sensors for toxic gases. *Proceedings of the Australian International Symposium on Analytical Science*, Melbourne 1999: 79–81.
34. **Wiranto G**. Microengineered thermal conductivity detectors. *What's New in Electronics* 1998; 18: 74–75.
35. Mambu GA, **Wiranto G**. Surface acoustic wave (SAW) device application as mercury sensor. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET)*, Batam 2014: 147–150.

36. Supriyanto E, **Wiranto G**, Hermida IDP. Studi morfologi film tipis ZnO yang ditumbuhkan di atas substrat Si (100) dengan metode spin coating. Prosiding Seminar Nasional Fisika (SENAFIS), Jember 2015: 41–47.
37. Supriyanto E, **Wiranto G**, Sutanto H, Subagio A. Pengaruh temperatur penumbuhan terhadap struktur kristal dan morfologi film tipis  $\text{TiO}_2$ :Eu yang ditumbuhkan dengan metode MOCVD. Jurnal Matematika & Sains 2007; 12(2): 69–73.
38. Setiarini A, Sugandi G, Wijayanto YN, **Wiranto G**, Manurung RV, Hermida IDP. A novel structure of electromagnetic MEMS speaker for hearing aid application. Proceedings of International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), Serpong 2018: 112–116.
39. Retnaningsih L, Muliani L, **Wiranto G**. Optical properties on blending paste of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles and reflector for dye solar cell photoelectrode. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET), Batam 2014: 160–163.
40. Shaikh AA, Shitole DS. Micro-electromechanical system (MEMS) sensor. International Journal of Scientific & Engineering Research 2012; 3(11): 1–8.
41. Soegandi TMS, **Wiranto G**, Cahyadi A. Karakteristik etsa anisotropik larutan KOH terhadap silikon (100) dalam membentuk struktur mikromekanik berbasis teknologi MEMS. Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia 2002; A5: 0598 (1–6).
42. **Wiranto G**, Soegandi TMS, Mulyono M, Widodo S. Karakterisasi etsa anisotropik silikon (100) dengan larutan CsOH. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2004: 41–46.
43. **Wiranto G**. Proses etsa anisotropik dengan larutan EPW untuk pembuatan divais semikonduktor. Proceedings of Electric, Control, Communication & Information Seminar (ECCIS), Malang 2000.

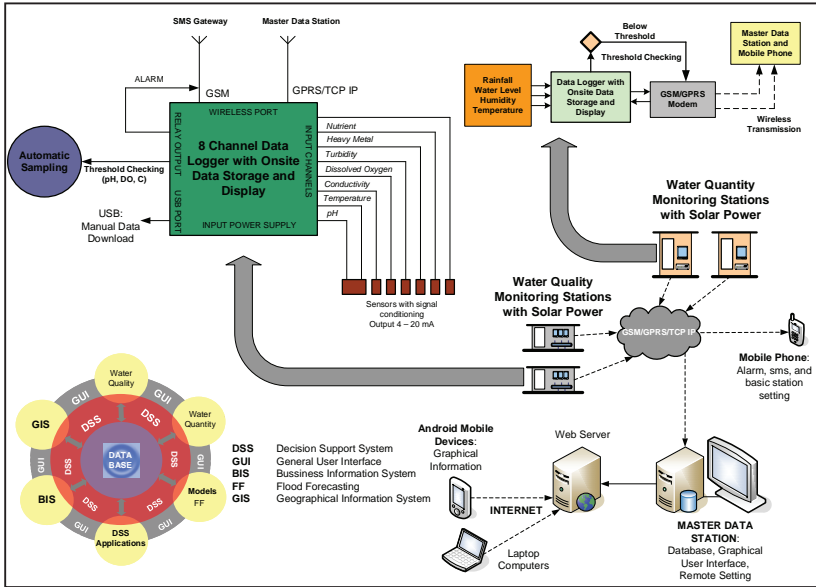


44. **Wiranto G**, Sugandi G, Hermida IDP, Supriyanto E. Laser micro-machining of silicon and its application for the fabrication of micro gas sensor device. Proceedings of the 2nd International Conference on Optics and Laser Applications (ICOLA), Yogyakarta 2007: 185–188.
45. **Wiranto G**, Soegandi TMS, Muljono M, Widodo S, Hermida IDP. The design of a miniature injector for microengineered GC system. Proceedings of the IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), Guoman Port Dickson, Malaysia 2000: 85–89.
46. **Wiranto G**, Haskard MR, Mulcahy DE, Davey DE, Dawes EE. Microengineered open tubular columns for GC analysis. Proceedings of SPIE 1999; 3891: 167–176.
47. **Wiranto G**. Miniaturising a gas chromatography system: Part 1: micromachining the silicon capillary columns. Proceedings of Indonesian German Conference on Instrumentation, Measurements, and Communications for the Future, Bandung 2001: 258–264.
48. Li S, Kiehne J, Sinoway LI, Cameron CE, Huang TJ. Microfluidic opportunities in the field of nutrition. *Lab Chip* 2013; 13: 3993.
49. Subarna N, Soegijoko S, Samadikun S, Suwandi A, **Wiranto G**. Design and implementation of field ionization tip microfabrication of gas sensor with micromachining technology. Proceedings of Indonesian German Conference on Instrumentation, Measurements, and Communications for the Future, Bandung 2001: 255–257.
50. Hermida IDP, **Wiranto G**, Widodo S. Proses rancang bangun cantilever dan nanotip untuk aplikasi AFM. Proceedings of the 5<sup>th</sup>Electrical Power, Electronics, Communications, Control & Informatics International Seminar (EECCIS), Brawijaya University 2010: B7.
51. **Wiranto G**. Penempelan silikon–glas Pyrex 7740 dengan cara elektrostatis. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2001; 1(1).

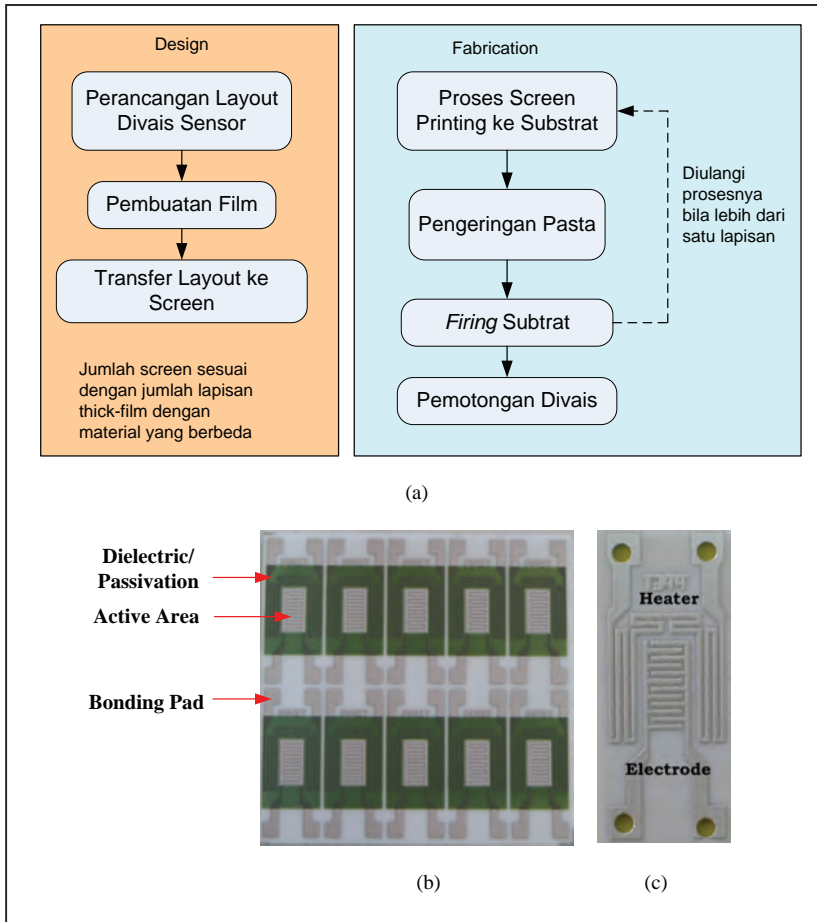
52. **Wiranto G**, Mambu GA. Study on heat transfer characteristics of a membrane based microsensors. Prosiding Seminar Nasional VIII Kimia dalam Pembangunan, Yogyakarta 2005: 29–36.
53. **Wiranto G**, Soegandi TMS, Karim BA, Sugandi G, Muljono M, Widodo S. Desain dan fabrikasi heater dan sensor temperatur dengan teknologi film tebal. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2004: 54–59.
54. Loutfi A, Coradeschi S, Mani GK, Shankar P, Rayappan JBB. Electronic noses for food quality: a review. *Journal of Food Engineering* 2015; 144: 103–111.
55. Widodo S, **Wiranto G**. Proses lift-off pada pembuatan divais sensor gas carbon monoksida. *ALCHEMY, Jurnal Penelitian Kimia* 2014; 10(2): 173–185.
56. **Wiranto G**. Microengineering technology applied to fabrication of miniature gas sensors. *Proceedings of Industrial Electronics Seminar, Surabaya* 2000: 201–206.
57. Lambrou TP, Anastasiou CC, Panayiotou CG, Polycarpou MM. A low-cost sensor network for real-time pemantauan and contamination detection in drinking water distribution systems. *IEEE Sensors Journal* 2014; 14(8): 2765–2772.
58. Mashari I, **Wiranto G**, Nugrahaningsih NH. Pengaruh bentonit terhadap penurunan kadar ammonia pada air limbah domestik di Tlogomas Malang. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2004: 47–53.
59. Siregar MRT, Hiskia, Wahyu Y, **Wiranto G**, Mashari I. On-line water quality pemantauan on Brantas river east java Indonesia. *Proceedings of IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), Malaysia* 2004: A27–A31.
60. Bashir MR, Gill AQ. IoT enabled smart buildings: a systematic review. *Proceedings of Intelligent Systems Conference, London* 2017: 151–159.

61. Martadi S, Sulthoni MA, **Wiranto G**, Surawijaya A, Herminda IDP. Design and fabrication of PVA-based relative humidity sensors using thick film technology. Proceedings of 2019 International Symposium on Electronics and Smart Devices, Bali 2019: 1–4.
62. Suhasini C, Marur DR. GSM and wireless sensor network based smart automated irrigation system. International Journal of Innovative Research In Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering 2015; 3(4): 50–53.
63. Mashari S, Nurmalina R, Suharno. Dinamika daya saing ekspor udang beku dan olahan Indonesia di pasar internasional. Jurnal Agribisnis Indonesia 2019; 7(1): 37–52.
64. Maulana YY, **Wiranto G**, Kurniawan D, Syamsu I, Mahmudin D. Online water quality pemantauan based on wireless sensor network: an application for shrimp aquaculture in Bangka island. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology 2018; 8(2): 358–364.
65. Kusrini P, **Wiranto G**, Syamsu I, Hasanah L. Sistem pemantauan online kualitas air akuakultur untuk tambak udang menggunakan aplikasi berbasis android: online water quality pemantauan system for shrimp aquaculture using android based applications. Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi 2016; 16(2): 25–32.
66. **Wiranto G**, Maulana YY, Hermida IDP, Syamsu I, Mahmudin D. Integrated online water quality pemantauan an application for shrimp aquaculture data collection and automation. Proceedings of IEEE International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA), Kuala Lumpur 2015: 111–115.

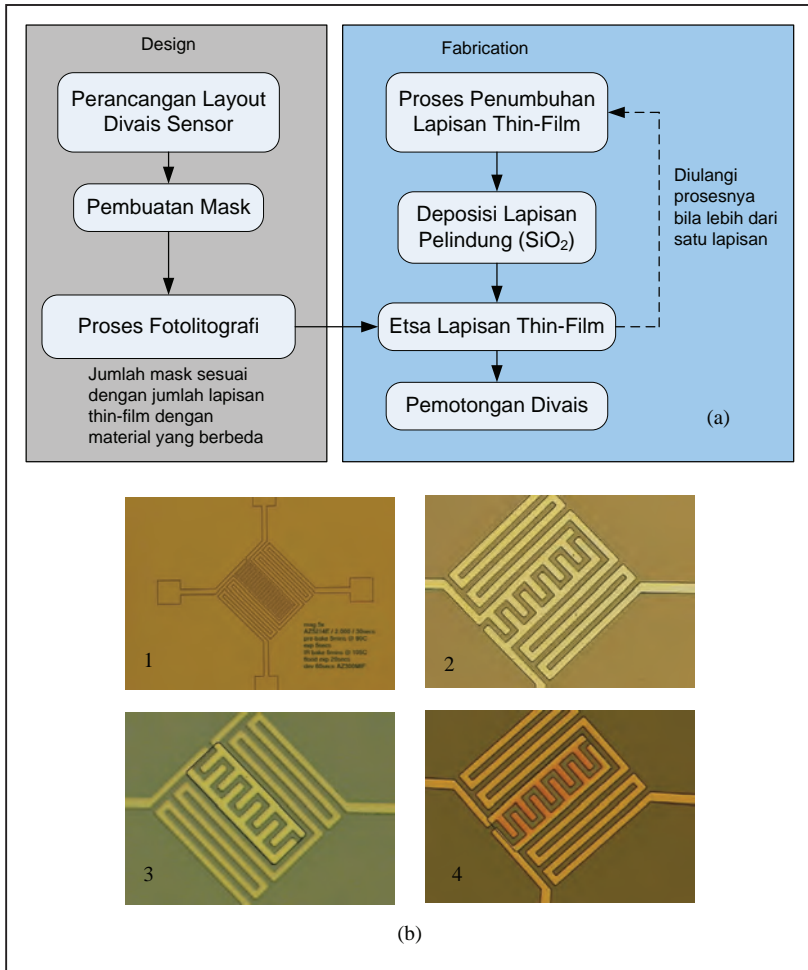
# LAMPIRAN



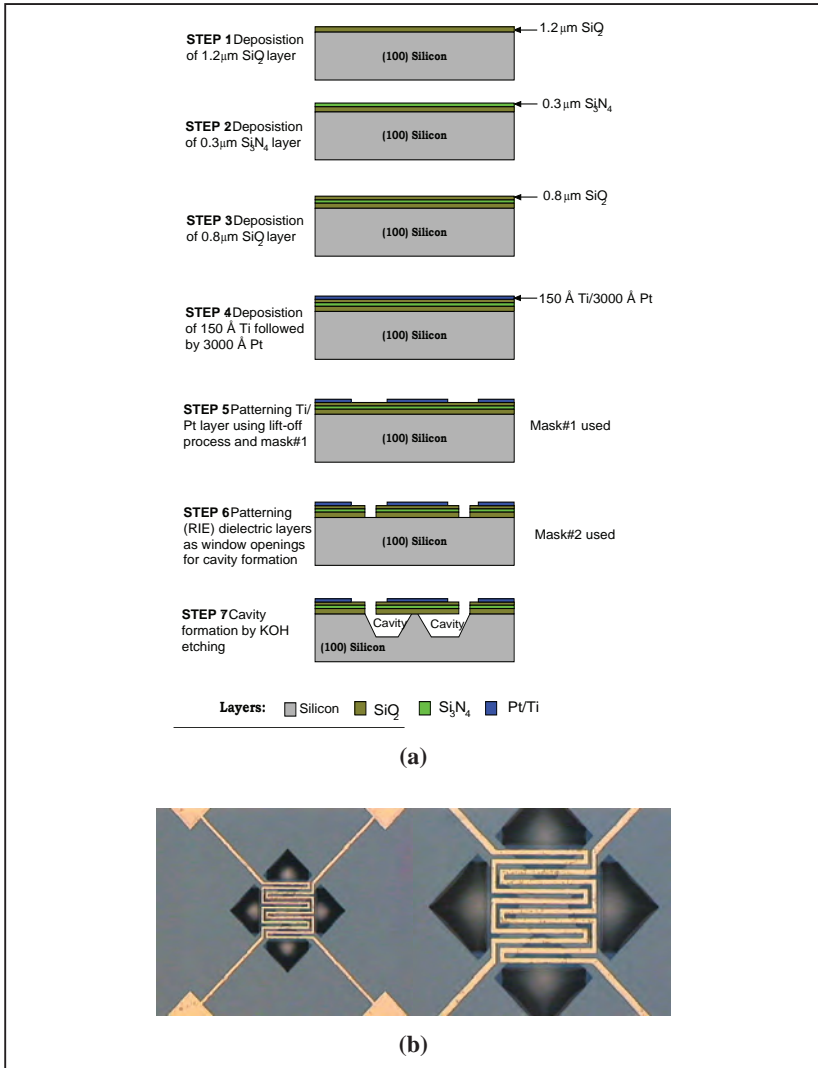
**Gambar 1.** Konsep sistem pemantauan *online* kualitas dan kuantitas air dengan komponen sensor, *automatic sampling*, sistem telemetri, dan *database management system*.



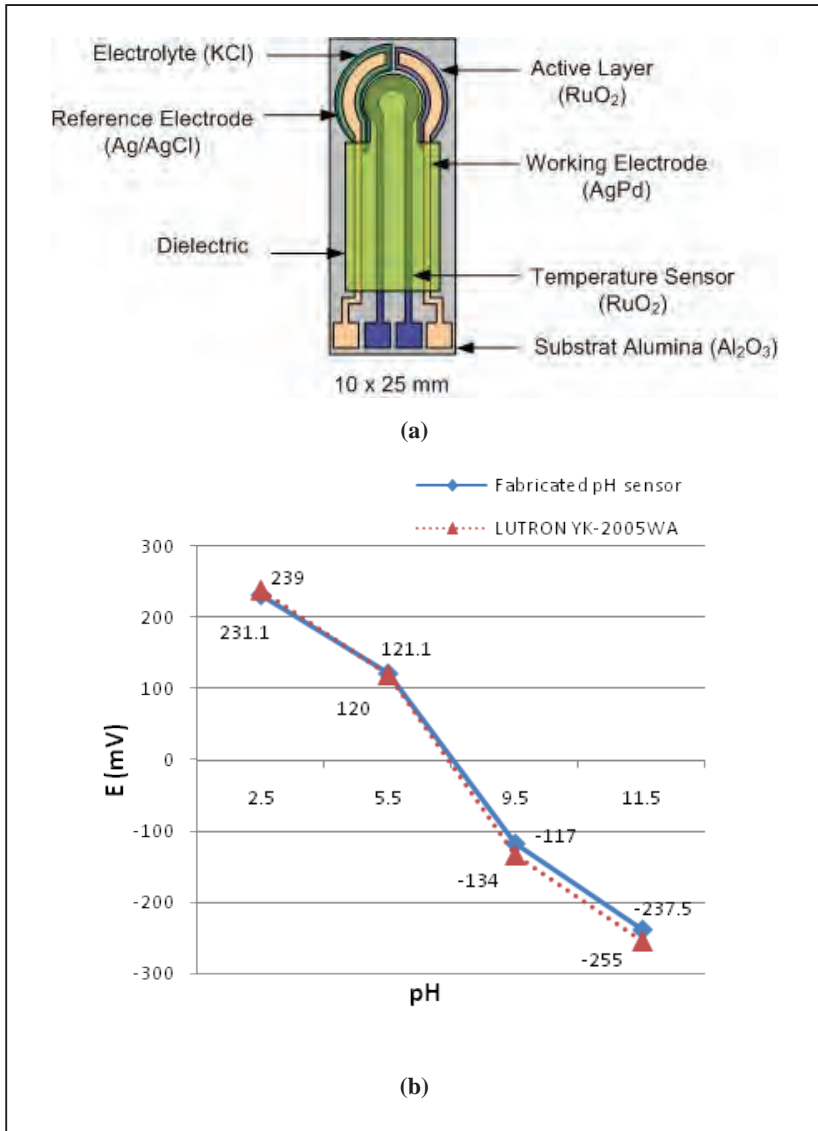
**Gambar 2.** (a) Tahapan proses rancang bangun sensor menggunakan teknologi *thick-film*, (b) Struktur sensor gas *thick-film* dalam satu substrat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  setelah proses *firing*, (c) Divais sensor setelah pemotongan substrat.



**Gambar 3.** (a) Tahapan proses rancang bangun sensor menggunakan teknologi *thin-film*, (b) Proses fabrikasi sensor gas *thin-film* menggunakan  $\text{SnO}_2$ ; 1) Setelah fotolitografi, 2) Setelah proses *lift-off* lapisan Pt/Ti, 3) Setelah deposisi dan etsa lapisan  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 4) Setelah *lift-off*  $\text{SnO}_2$ .

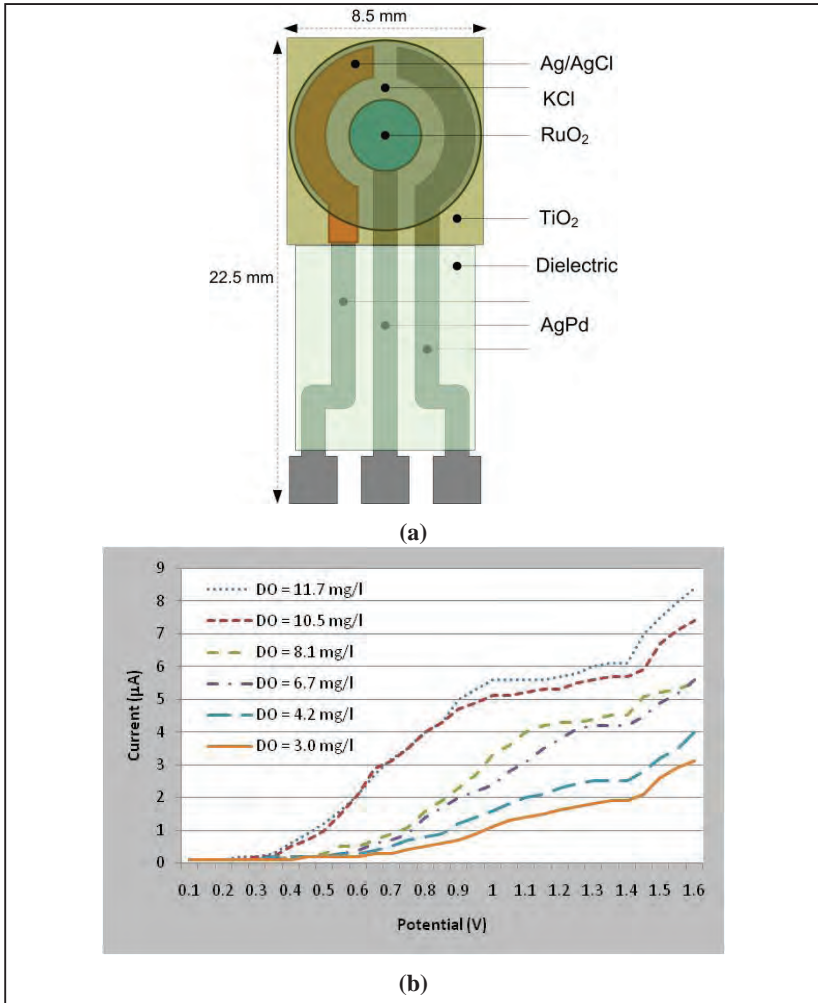


**Gambar 4.** (a) Tahapan proses fabrikasi sensor menggunakan teknologi *micromachining*, (b) Area aktif dari sensor gas setelah proses *micromachining cavity* di bawahnya.

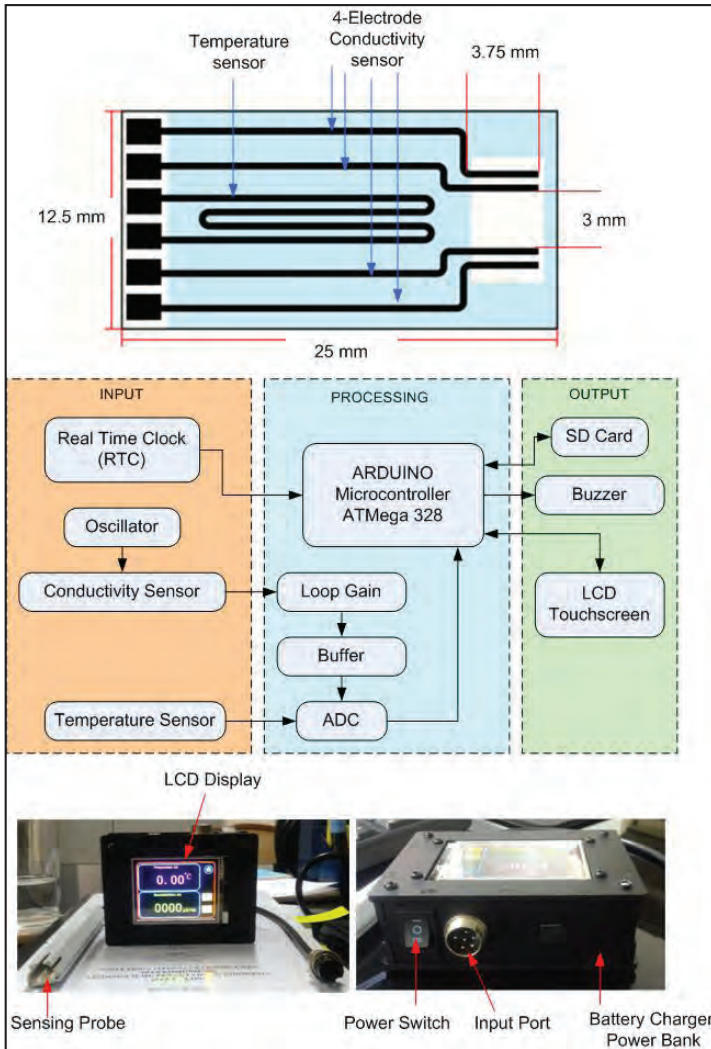


**Gambar 5.** (a) Desain dan struktur sensor pH *thick-film*, (b) Sensitivitas sensor pH  $-56\text{mV/pH}$ .

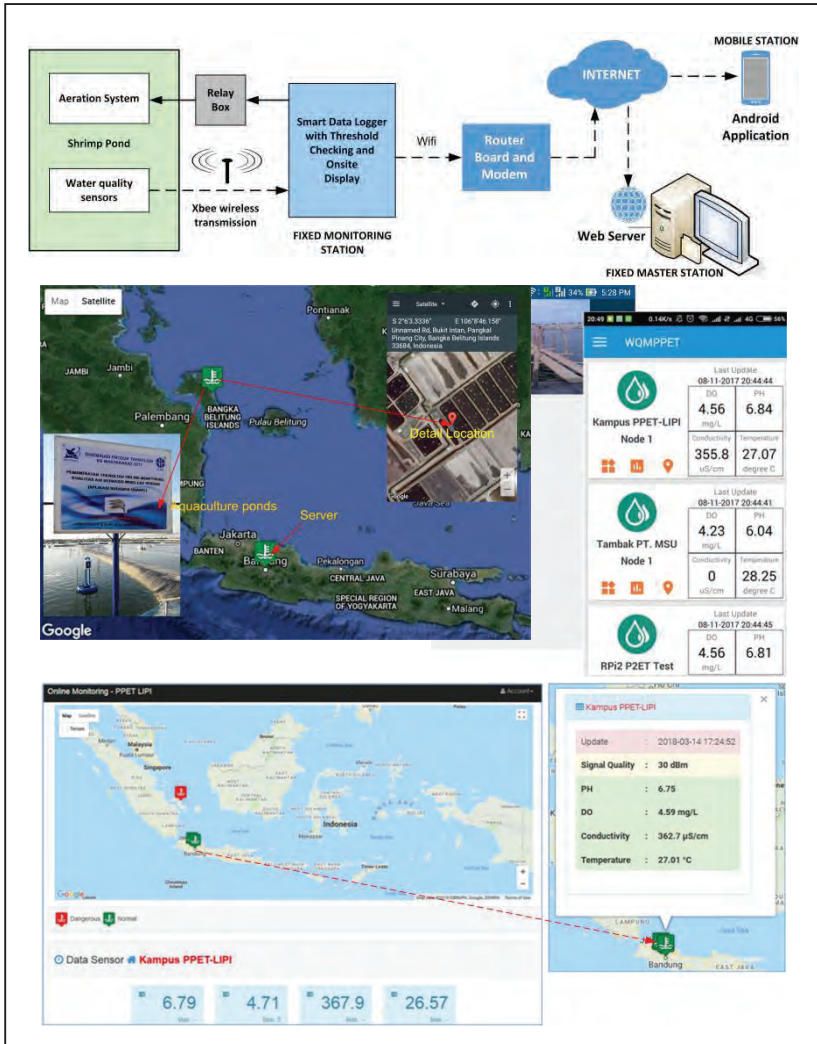




**Gambar 6.** (a) Desain dan struktur sensor DO *thick-film*, (b) Hasil pengukuran voltametrik sensor DO.



**Gambar 7.** Layout sensor konduktivitas air dengan teknologi *thick-film*, komponen elektronik pengolah sinyal, dan *packaging*-nya.



**Gambar 8.** Sistem pemantauan *online* dan otomatisasi untuk budi daya perikanan (tambak udang) yang terkoneksi ke *web* dan *mobile phone*.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

### Buku

1. **Wiranto G.** Innovative ASEAN: creating ASEAN competitiveness through innovation, sciences, and technology. Jakarta: LIPI Press; 2006.

### Bagian dari Buku

2. **Wiranto G.** Development of MEMS based microfluidic devices at the Research Centre for Electronics and Telecommunications: Indonesian Institute of Sciences. Dalam: Jain VK, editor. Microelectronics: Wireless technology and MEMs in the developing countries. Delhi India: Daya Publishing House; 2007. 38–53.
3. **Wiranto G,** Soegandi TMS. Online measurement of water pollutant parameters and its application in the Brantas river. Dalam: Wiranto G, editor. Innovative ASEAN: Creating ASEAN competitiveness through innovation, sciences, and technology. Jakarta: LIPI Press; 2006. 167–172.
4. Adiseno, **Wiranto G,** Hutabarat MT, Syukri Y. A 1.8-V wide-band low-noise down-converter for multi-band receivers. Dalam: Wiranto G, editor. Innovative ASEAN: Creating ASEAN competitiveness through innovation, sciences, and technology. Jakarta: LIPI Press; 2006. 196–202.

### Jurnal Internasional

5. Sugandi G, Hamzah AA, Yunas Y, Noor MM, **Wiranto G,** Burhanuddin BY. Design, simulation, fabrication and characterization of electro-dynamically actuated MEMS-speaker. *ASM Science Journal* 2019; 12(4): 125–130.
6. **Wiranto G,** Hermida IDP, Prabowo BA, Manurung RV, Widodo S, Aji GP, Rahajoeningroem T. A low-cost instrument based on thick film sensors for measuring water conductivity and temperature. *International Journal of Engineering & Technology* 2018; 7(4.40): 1–4.

7. **Wiranto G**, Widodo S, Hermida IDP, Manurung RV, Sugandi S, Arifin Z, Wiendartun. Design and fabrication of thick film dissolved oxygen sensor based on  $\text{RuO}_2$  working electrodes for water quality pemantauan. *Materials Science Forum* 2018; 917: 59–63.
8. Maulana YY, **Wiranto G**, Kurniawan D, Syamsu I, Mahmudin D. Online water quality pemantauan based on wireless sensor network: an application for shrimp aquaculture in Bangka island. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* 2018; 8(2): 358–364.
9. **Wiranto G**, Hermida IDP, Hiskia, Rama B, Rusdiana D. Liquid conductivity sensor based on AgPd paste fabricated on an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  substrate using screen printing technique. *Materials Science Forum* 2017; 887: 108–115.
10. Mulyanti B, Menon S, Shaari S, Hariyadi T, Hasanah L, Haroon H, Ehsan AA, Mahmudin D, **Wiranto G**, Majlis BY. Design and optimization of coupled microring resonators (MRRs) in silicon-on-insulator. *Sains Malaysia* 2014; 43(2): 247–252.
11. **Wiranto G**. Microengineered thermal conductivity detectors. *What's New in Electronics* 1998; 18: 74–75.

### Jurnal Nasional

12. Maulana YY, **Wiranto G**, Kurniawan D. Online pemantauan kualitas air pada budidaya udang berbasis WSN dan IoT. *Jurnal INKOM* 2016; 10(2): 81–86.
13. Pamungkas RS, Hasanah L, **Wiranto G**. Rancang bangun penerima sinyal berbasis komunikasi nirkabel untuk pemantauan kualitas air. *Wahana Fisika* 2016; 1(2): 123–128.
14. Kusriani P, **Wiranto G**, Syamsu I, Hasanah L. Sistem pemantauan online kualitas air akuakultur untuk tambak udang menggunakan aplikasi berbasis android: online water quality pemantauan system for shrimp aquaculture using android based applications. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2016; 16(2): 25–32.

15. Arifin F, **Wiranto G**, Wiendartun. Fabrikasi dan karakterisasi sensor pengukur kadar oksigen terlarut dalam air berbasis teknologi film tebal. *Fibusi (Jurnal Online Fisika)* 2016; 4(1).
16. Maemunnur AF, **Wiranto G**, Waslaluddin. Rancang bangun sistem alat ukur turbidity untuk analisis kualitas air berbasis arduino uno. *Fibusi (Jurnal Online Fisika)* 2016; 4(1).
17. Rama B, **Wiranto G**, Rusdiana D. Fabrikasi dan karakterisasi sensor konduktivitas berbasis teknologi film tebal untuk analisis kualitas air. *Fibusi (Jurnal Online Fisika)* 2016; 4(1).
18. Batara DS, **Wiranto G**, Tayubi YR. Fabrikasi dan karakterisasi elektroda detektor ph dan temperatur terintegrasi dalam satu lapisan substrat. *Fibusi (Jurnal Online Fisika)* 2015; 3(3).
19. Widodo S, **Wiranto G**. Perancangan dan pembuatan divais sensor gas CO berbasis indium timah oksida (ITO) dengan teknologi film tipis. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia* 2015; 17(1): 48–59.
20. Maulana YY, Mahmudin D, Wijaya RI, **Wiranto G**. Pemantauan kualitas air secara real-time terintegrasi, *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2015; 15(1): 23–27.
21. Retnaningsih L, Muliani L, **Wiranto G**. Sifat optik campuran pasta  $\text{TiO}_2$  partikel nano dan pasta reflektor pada foto elektroda dye solar cell. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2014; 14(2): 36–39.
22. Widodo S, **Wiranto G**. Proses lift-off pada pembuatan divais sensor gas carbon monoksida. *ALCHEMY (Jurnal Penelitian Kimia)* 2014; 10(2): 173–185.
23. **Wiranto G**, Mambu GA, Widodo S, Budiawan W. Rancang bangun struktur mikrodivais di silikon untuk aplikasi sensor gas berbasis semikonduktor metal oksida, *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2010; 11(1): 60–65.
24. **Wiranto G**, Hermida IDP. Pembuatan sistem pemantauan kualitas air secara real time dan aplikasinya dalam pengelolaan tambak udang. *Jurnal Teknologi Indonesia* 2010; 33(2): 107–113.

25. **Wiranto G**, Idayanti N, Retnaningsih L, Hermida IDP. Karakteristik nanomaterial indium tinoxide (ITO) hasil sintesa menggunakan proses sol gel. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2009; 9(2): 265–269.
26. Hermida IDP, **Wiranto G**, Retnaningsih L. Desain sensor gas berbasis zinc oxide untuk mendeteksi gas carbon monoxide (CO) pada kendaraan bermotor. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2009; 9(2): 52–59.
27. Widodo S, Hermida IDP, **Wiranto G**, Muljono M. Studi desain dan fabrikasi cantilever AFM. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2009; 9(2): 229–233.
28. Supriyanto E, **Wiranto G**. Struktur kristal, morfologi dan sifat optik film tipis  $\text{TiO}_2:\text{Eu}$  yang ditumbuhkan diatas Si(100) dengan metode MOCVD. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2009; 9(2): 41–47.
29. Supriyanto E, **Wiranto G**, Sutanto H, Subagio A. Pengaruh temperatur penumbuhan terhadap struktur kristal dan morfologi film tipis  $\text{TiO}_2:\text{Eu}$  yang ditumbuhkan dengan metode MOCVD. *Jurnal Matematika & Sains* 2007; 12(2): 69–73.
30. **Wiranto G**, Mashari I, Hermida IDP, Karim BA. Rancang bangun stasiun bergerak untuk pemantauan kualitas air sungai. *Jurnal Purifikasi* 2006; 7(1): 25–30.
31. **Wiranto G**. Manajemen sumber daya air berdasarkan informasi hidrologi yang terintegrasi di DAS Brantas. *Majalah Jasa Ilmiah Indonesia* 2006; 2(1): 10–15.
32. **Wiranto G**. Manajemen sumber daya air di DAS Brantas. *Inovasi* 2006; (3): 20–21.
33. Manurung RV, **Wiranto G**. Proses konfigurasi radio modem pada stasiun pemantauan kuantitas air. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2005; 5(2): 53–57.
34. **Wiranto G**. Pemantauan kualitas air secara on-line: studi kasus sungai Brantas. On-line water quality pemantauan: A case study on Brantas river. *Jurnal Purifikasi* 2005; 6(1): 67–72.

35. Soegandi TMS, **Wiranto G.** The design of the miniature injector for the microengineered GC system. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2004; 4(1–2): 7–14.
36. Subarna N, Soegijoko S, **Wiranto G.** Pemrograman W670 laser trim system berbasis bahasa C untuk pemotongan wafer silikon. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2003; 3(2): 32–36.
37. **Wiranto G,** Soegandi TMS, Cahyadi A, Studi etsa anisotropik silikon dengan larutan CsOH. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia* 2002; A5: 0591 (1–6).
38. Soegandi TMS, **Wiranto G,** Cahyadi A. Karakteristik etsa anisotropik larutan KOH terhadap silikon (100) dalam membentuk struktur mikromekanik berbasis teknologi MEMS. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia* 2002; A5: 0598 (1–6).
39. **Wiranto G.** Pengaruh suhu terhadap konduktivitas pada lapisan tipis platinum–titanium. *Indonesian Journal of Solid Conductor Materials* 2001; 2(1): 29–32.
40. **Wiranto G.** Penempelan silikon–gelas Pyrex 7740 dengan cara elektrostatik. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 2001; 1(1).
41. **Wiranto G.** Mask-making dan penulisan langsung ke-atas wafer dengan laser direct write system (LDWS). *Buletin IPT* 1997; II(6).

### **Prosiding Internasional**

42. Martadi S, Sulthoni MA, **Wiranto G,** Surawijaya A, Herminda IDP. Design and fabrication of PVA-based relative humidity sensors using thick film technology. *Proceedings of 2019 International Symposium on Electronics and Smart Devices, Bali 2019:* 1–4.
43. Supriyanto E, Kartikasari HA, Alviati N, Rohman L, **Wiranto G.** Performance simulation of various local natural dye photosensitizers for dye sensitized solar cell (DSSC) applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019; 515: 012048 1–11.



44. Setiarini A, Sugandi G, Wijayanto YN, **Wiranto G**, Manurung RV, Hermida IDP. A novel structure of electromagnetic MEMS speaker for hearing aid application. Proceedings of International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), Serpong 2018: 112–116.
45. Manurung RV, **Wiranto G**, Hermida IDP. Synthesis and characterization monodisperse core-shell lanthanide up-conversion nanoparticles  $\text{NaYF}_4:\text{Yb,Tm}/\text{SiO}_2$ . IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018; 367: 012043 1–6.
46. **Wiranto G**, Idayanti N, Retnaningsih L. Study on the synthesis of indium tin oxide (ITO) nanomaterial using sol gel process and its potential for CO gas detection. Journal of Physics: Conference Series 2016; 776: 012060 1–6.
47. Hermida IDP, **Wiranto G**, Hiskia, Nopriyanti R. Fabrication of  $\text{SnO}_2$  based CO gas sensor device using thick film technology. Journal of Physics: Conference Series 2016; 776: 012061 1–8.
48. **Wiranto G**, Hermida IDP, Fatah A, Waslaluddin. Design and realisation of a turbidimeter using TSL250 photodetector and arduino microcontroller. Proceedings of International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), Kuala Lumpur 2016: 324–327.
49. Anggraini PN, Muliani L, **Wiranto G**, Retnaningsih L, Hidayat J. Stability optimization of  $\text{TiO}_2$  dye-sensitized solar sub-modules in Z-type series interconnection. Proceedings of International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), Kuala Lumpur 2016: 284–287.
50. **Wiranto G**, Maulana YY, Syamsu I, Kurniawan D. Implementation of real time remote water quality pemantauan system using wireless sensors and arduino based data logger. Proceedings of International Workshop on Computer Science and Engineering (WCSE), Tokyo 2016: 325–329.
51. **Wiranto G**, Idayanti N, Tayubi YR, Barata DS. Design and fabrication of low-cost thick film pH sensor using chlorinated reference electrodes with integrated temperature sensor. MATEC Web of Conferences 2016; 40: 01001 (1–5).

52. Hermida IDP, **Wiranto G**, Mahmudin D, Kurniadi DP, Utari L, Setiawan A. Ag, Pd/Ag, and Au thick films growth using screen printing method for microstrip band pass filter application. Proceedings of IEEE Regional Symposium on Micro and Nano Electronics (RSM), Malaysia 2015: 247–250.
53. Widodo S, **Wiranto G**, Hidayat MN. Fabrication of dye sensitized solar cells with spray coated carbon nano tube (CNT) based counter electrodes. Energy Procedia 2015; 68: 37–44.
54. Mahmudin D, Daud P, Armi N, **Wiranto G**, Wijayanto Y N, Estu TT. Environmental liquid waste sensors using polymer multi-coupled ring resonators. Proceedings of IEEE International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA), Kuala Lumpur 2015: 88–91.
55. **Wiranto G**, Mambu GA, Hiskia, Hermida IDP, Widodo S. Design of online data measurement and automatic sampling system for continuous water quality pemantauan. Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Beijing 2015: 2331–2335.
56. **Wiranto G**, Maulana YY, Hermida IDP, Syamsu I, Mahmudin D. Integrated online water quality pemantauan an application for shrimp aquaculture data collection and automation. Proceedings of IEEE International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA), Kuala Lumpur 2015: 111–115.
57. Mambu GA, **Wiranto G**. Surface acoustic wave (SAW) device application as mercury sensor. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET), Batam 2014: 147–150.
58. Retnaningsih L, Muliani L, **Wiranto G**. Optical properties on blending paste of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and reflector for dye solar cell photoelectrode. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET), Batam 2014: 160–163.

59. Retnaningsih L, Muliani L, **Wiranto G**. Characterization of dyes sensitized solar cell (DSSC) which used  $\text{TiO}_2$  scattering layer. Proceedings of International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET), Surabaya 2013: 80–83.
60. Hazura H, Menon PS, Majlis BY, Hanim AR, Mardiana B, Hasanah L, Mulyanti B, Mahmudin D, **Wiranto G**. Modeling of SOI-based MRR by coupled mode theory using lateral coupling configuration. Proceedings of IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), Malaysia 2012: 422–425.
61. Mulyanti B, Manurung RV, **Wiranto G**, Suartini T & Nugroho P, The Design and Fabrication of Ion Sensor Electrodes using Thick Film Technology, Proceedings International Session of the 5<sup>th</sup>Electrical Power, Electronics, Communications, Control & Informatics International Seminar (EECCIS), 16–17 December, 2010, Brawijaya University, Indonesia: B4 (1–4).
62. **Wiranto G**, Sugandi G, Hermida IDP, Supriyanto E. Laser micromachining of silicon and its application for the fabrication of micro gas sensor device. Proceedings of the 2nd International Conference on Optics and Laser Applications (ICOLA), Yogyakarta 2007: 185–188.
63. Siregar MRT, Hiskia, Wahyu Y, **Wiranto G**, Mashari I. On-line water quality pemantauan on Brantas river east java Indonesia. Proceedings of IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), Malaysia 2004: A27–A31.
64. Subarna N, Soegijoko S, Samadikun S, Suwandi A, **Wiranto G**. Design and implementation of field ionization tip microfabrication of gas sensor with micromachining technology. Proceedings of Indonesian German Conference on Instrumentation, Measurements, and Communications for the Future, Bandung 2001: 255–257.

65. **Wiranto G.** Miniaturising a gas chromatography system: Part 1: Micromachining the silicon capillary columns. Proceedings of Indonesian German Conference on Instrumentation, Measurements, and Communications for the Future, Bandung 2001: 258–264.
66. **Wiranto G.** Miniaturising a gas chromatography system: result and characterisation. Proceedings of Indonesian German Conference on Instrumentation, Measurements, and Communications for the Future, Bandung 2001: 265–270.
67. **Wiranto G.** Separation efficiency of rectangular microengineered GC column on hydrocarbon mixture. Proceedings of International Conference on Electrical, Electronics, Communication, and Information, Jakarta 2001: MD1–MD5.
68. **Wiranto G,** Soegandi TMS, Muljono M, Widodo S, Hermida IDP. The design of a miniature injector for microengineered GC system. Proceedings of the IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), Guoman Port Dickson, Malaysia 2000: 85–89.
69. **Wiranto G,** Haskard MR, Mulcahy DE, Davey DE, Dawes EE. Microengineered open tubular columns for GC analysis. Proceedings of SPIE 1999; 3891: 167–176.
70. Davey DE, Han J, Mulcahy DE, Haskard MR, **Wiranto G.** The design and testing of sensors for toxic gases. Proceedings of the Australian International Symposium on Analytical Science, Melbourne 1999: 79–81.
71. **Wiranto G,** Haskard MR, Mulcahy DE, Davey DE, Soegandi TMS, Soegijoko S. Microengineered gas chromatography. Proceedings of the 5th ASEAN Science and Technology Week (ASTW): Microelectronics and IT Conference, Vietnam 1998: 196–219.
72. **Wiranto G,** Samaan ND, Mulcahy DE, Davey DE. Microfabrication of capillary columns on silicon. Proceedings of SPIE 1997; 3242: 59–64.

73. **Wiranto G**, Haskard MR, Mulcahy DE, Davey DE. Analysis of thick film capillary columns as gas/liquid micropaths. Proceedings of 14th Australian Microelectronics Conference, Melbourne 1997: 104–107.
74. **Wiranto G**, Haskard MR, Mulcahy DE, Davey D E. Design and fabrication of thick film capillary column. Proceedings of RACI 14th Australian Symposium on Analytical Chemistry, Adelaide 1997: 389.

### Prosiding Nasional

75. Waliyuddin MM, Hasanah L, **Wiranto G**. Rancang bangun sistem transmitter dan kalibrasi sensor kualitas air berbasis komunikasi nirkabel. Prosiding Seminar Nasional Fisika (SINAFI), Bandung 2016: 43–49.
76. Surpiyanto E, **Wiranto G**, Hermida IDP. Studi morfologi film tipis ZnO yang ditumbuhkan di atas substrat Si (100) dengan metode spin coating. Prosiding Seminar Nasional Fisika (SEN-AFIS), Jember 2015: 41–47.
77. Widodo S, **Wiranto G**. Sintesis seng oksida (ZnO) nano partikel sebagai bahan aktif pada sensor gas dengan metode sol gel. Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IP-TEK) Universitas Jenderal Ahmad Yani, Cimahi 2014: 350–356.
78. Widodo S, **Wiranto G**. Proses sintesis indium tin oksida nano partikel dengan metode sol gel sebagai lapisan aktif pada sensor gas CO. Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Iptek) Universitas Jenderal Ahmad Yani, Cimahi 2014: 357–362.
79. Retnaningsih L, **Wiranto G**, Budiawan W. Karakterisasi hasil proses pelapisan bahan pasta TiO<sub>2</sub> reflektor sebagai photoelectrode untuk aplikasi sel surya dye sensitif. Prosiding Seminar Nasional XV Kimia dalam Pembangunan, Jogjakarta 2012: 61–64.

80. Hermida IDP, **Wiranto G**, Widodo S. Proses rancang bangun cantilever dan nanotip untuk aplikasi AFM. Proceedings of the 5<sup>th</sup> Electrical Power, Electronics, Communications, Control & Informatics International Seminar (EECCIS), Brawijaya University 2010: B7.
81. **Wiranto G**, Sugandi G, Hermida IDP, Widodo S, Supriyanto E. Pengembangan metode baru dalam rancang bangun sistem sensor berbasis MEMS untuk pemantauan pencemaran lingkungan. Prosiding Seminar Pemaparan Hasil Litbang Ilmu Pengetahuan Teknik IV, Bandung 2008: B113–B118.
82. Hermida IDP, **Wiranto G**, Muljono M. Rancang bangun sistem sensor gas berbasis metal oksida untuk mendeteksi pencemaran lingkungan. Prosiding Seminar Pemaparan Hasil Litbang Ilmu Pengetahuan Teknik IV, Bandung 2008: B149–B154.
83. Martadi S, Mulyanti B, Hermida IDP, **Wiranto G**. Perancangan miniatur divais sensor gas menggunakan teknologi laser micro-machining di silikon. Proceedings of National Conference on Prospected Technology (NCPT), Bandung 2007: 123–128.
84. Permana IG, **Wiranto G**, Juanda EA. Perancangan dan fabrikasi sensor gas berbasis metal oksida menggunakan teknologi thick film. Proceedings of National Conference on Prospected Technology (NCPT), Bandung 2007: 405–409.
85. Rodiyat, Santika RI, Haritman E, **Wiranto G**, Hermida IDP. Perancangan sistem penginderaan kualitas udara secara wireless berbasis mikrokontroler AT89S51. Proceedings of National Conference on Prospected Technology (NCPT), Bandung 2007: 117–122.
86. **Wiranto G**. Kajian perkembangan teknologi rancang bangun sensor gas untuk emisi gas buang kendaraan bermotor. Prosiding Seminar Nasional Tenaga Listrik dan Mekatronika, Bandung 2006: 549–554.

87. **Wiranto G**, Mambu GA. Study on heat transfer characteristics of a membrane based microsensors. Prosiding Seminar Nasional VIII Kimia dalam Pembangunan, Yogyakarta 2005: 29–36.
88. **Wiranto G**, Subarna N, Soegijoko S, Samadikun S, Suwandi A. Rancang bangun microtip sebagai elektroda ionisasi pada sensor gas. Prosiding Seminar Nasional VIII Kimia dalam Pembangunan, Yogyakarta 2005: 23–28.
89. **Wiranto G**, Soegandi TMS, Mulyono M, Widodo S. Karakterisasi etsa anisotropik silikon (100) dengan larutan CsOH. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2004: 41–46.
90. **Wiranto G**, Soegandi TMS, Manurung RV. Development of microthermal conductivity detectors for gas chromatography system. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2004: 95–104.
91. Mashari I, **Wiranto G**, Nugrahaningsih NH. Pengaruh bentonit terhadap penurunan kadar ammonia pada air limbah domestik di Tlogomas Malang. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2004: 47–53.
92. **Wiranto G**, Soegandi TMS, Karim BA, Sugandi G, Muljono M, Widodo S. Desain dan fabrikasi heater dan sensor temperatur dengan teknologi film tebal. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2004: 54–59.
93. Manurung RV, Hiskia, **Wiranto G**. Otomatisasi sistem pengatur kerja miniatur pompa, valve dan injektor pada sistem flow injection analysis (FIA) berbasis mikrokontroler AT89C52. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2004: 105–117.
94. Hiskia, **Wiranto G**, Manurung RV. Rancang bangun elektroda antimony ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) sebagai sensor pH menggunakan teknik screen printing. Prosiding Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2004: 141–148.

95. **Wiranto G**, Mashari I. Sistem pengukuran parameter pencemaran air sungai secara kontinyu dan aplikasinya di sungai Brantas. Proceeding ECCIS 2004 Electric, Control, Communication & Information Seminar, Malang 2004: B79–B83.
96. **Wiranto G**, Sayuti A, Soegandi TMS, Karim BA, Sugandi G, Muljono M, Widodo S. Desain dan fabrikasi sistem pemanas otomatis dengan teknologi thick film. Proceeding Seminar Nasional Pengembangan Program R & D Mikroelektronika dan Aplikasinya, Bandung 2003: B23 – B31.
97. Subarna N, Soegijoko S, Samadikun S, Suwandi A, **Wiranto G**. Fabrikasi sensor gas field ionization. Proceeding Seminar Nasional Pengembangan Program R & D Mikroelektronika dan Aplikasinya, Bandung 2003: B11–B16.
98. **Wiranto G**. Fabrication of thin SiO<sub>2</sub> membranes on (100) silicon. Proceedings of Seminar on Intelligent Technology and Its Applications, Surabaya 2001: PS1–PS4.
99. **Wiranto G**. Teknologi micromachining. Proceedings of Seminar on Intelligent Technology and Its Applications, Surabaya 2001: E1–E5.
100. **Wiranto G**. Miniaturisasi gas chromatography: teknologi dan prospek pengembangannya. Prosiding Seminar Nasional IX Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta 2000.
101. **Wiranto G**. Microengineering technology applied to fabrication of miniature gas sensors. Proceedings of Industrial Electronics Seminar, Surabaya 2000: 201–206.
102. **Wiranto G**, Soegandi TMS, Muljono M, Hermida IDP, Widodo S. Microengineering technology: powerful techniques for creating micromechanical structures. Prosiding Simposium Fisika Nasional XVIII, Serpong 2000: 501–506.
103. Hermida IDP, **Wiranto G**, Muljono M, Widodo S. Teknologi anodic bonding untuk micromechanical. Prosiding Simposium Fisika Nasional XVIII, Serpong 2000: 348–352.



104. Widodo S, Muljono M, Hermida IDP, Soegandi TMS, **Wiranto G**. Studi etsa anisotropik untuk pembuatan divais sensor semikonduktor. Prosiding Simposium Fisika Nasional XVIII, Serpong 2000: 303–310.
105. **Wiranto G**. Miniatur column kapiler dari silikon sebagai alternatif column konvensional pada sistem gas chromatography. Prosiding Pemaparan Hasil Litbang Ilmu Pengetahuan Teknik 2000 ISBN 979-9477-28-X.
106. **Wiranto G**. Proses etsa anisotropik dengan larutan EPW untuk pembuatan divais semikonduktor. Proceedings of Electric, Control, Communication & Information Seminar (ECCIS), Malang 2000.

## DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. Kurniawan ED, Prabowo BA, Kurniadi DP, Widodo S, Mahmudin S, **Wiranto G**, Hermida IDP. Piranti Pengukur konduktivitas dan suhu air berbahan perak paladium (AgPd) dan ruthenium dioksida ( $\text{RuO}_2$ ) yang terintegrasi berbasis teknologi film tebal. Paten Indonesia, No. P00201809288, 2018, 15 November.
2. Kurniadi DP, Sulaeman Y, Sudrajat N, **Wiranto G**, Sugandi G. Transduser ultrasonik dengan frekuensi resonansi yang dapat disesuaikan pada sistem sonikator. Paten Indonesia, No. P00201809302, 2018, 15 November.
3. Daud P, Widodo S, Prabowo BA, Hermida IDP, Manurung RV, Sugandi G, **Wiranto G**, Permana DP. Piranti permanen energi getaran berdaya rendah berbasis transduksi elektrodinamik. Paten Indonesia, No. P00201707651, 2017, 31 Oktober.
4. **Wiranto G**, Sugandi G, Manurung RV, Hermida IDP, Prabowo BA, Widodo S, Kurniawan D. Aplikasi online water quality pemantauan pada tambak udang. Hak Cipta Indonesia, No. C00201705322, 2017, 24 November.
5. Supriyanto E, Subekti A, **Wiranto G**. Sintesis  $\text{TiO}_2$ :Au rutile nanokristal sebagai sensor gas CO. Paten Indonesia, No. P00201304722, 2013, 29 November.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Data Pribadi

Nama	: Dr. Goib Wiranto
Tempat, Tanggal Lahir	: Madiun, 30 Desember 1969
Anak Ke-	: 4 dari 5 Bersaudara
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Nama Ayah Kandung	: Soejatin (alm.)
Nama Ibu Kandung	: Suyatmi (alm.)
Nama Istri	: Jetri Muljanti
Jumlah Anak	: 3
Nama Anak	: 1. Ryan Syahputra Wiranto, S.T. 2. Denny Unisaputra Wiranto 3. Shenny Oktaviana
Nama Instansi	: Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Judul Orasi	: Pengembangan Sensor Berbasis Teknologi Mikroelektronika untuk Pemantauan Pencemaran Lingkungan
Bidang Kepekaran	: Elektronika, Sensor
No. SK Pangkat Terakhir	: 71/K Tahun 2014
No. SK Peneliti Utama	: 159/M Tahun 2013

## B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1	SD	SD Negeri MadiunLor VIII	Madiun	1982
2	SMP	SMP Negeri 3	Madiun	1985
3	SMA	SMA Negeri 2	Madiun	1988
4	S1	Michigan Technological University	Houghton, Michigan, USA	1993
5	S3	University of South Australia	Adelaide, South Australia	2001

## C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/Negara	Tahun
1	JSPS (Japan Society for the Promotion of Science): Visit- ing Scientist	Toyohashi University of Technology	2002
2	International Scientific Instru- ment Technology Workshop: Nanostructural Inspection and Fabrication	Instrument Techno- logy Research Center (ITRC), Hsinchu, Taiwan	2005
3	International Scientific Instru- ment Technology Workshop: Nano Biophotonics and Chip Sensing Technology	Instrument Techno- logy Research Center (ITRC), Hsinchu, Taiwan	2006
4	VLSI Testing	Manila, Filipina	2008
5	International Scientific Instru- ment Technology Workshop: Nano Biology and Biosensors	Instrument Techno- logy Research Center (ITRC), Hsinchu, Taiwan	2009

<b>No.</b>	<b>Nama Pelatihan/Pendidikan</b>	<b>Tempat/Kota/Negara</b>	<b>Tahun</b>
6	Program Risetpro Nongelar: Perencanaan Strategis Program Rekayasa Material Solar Cell Berbasis Silikon Polikristal da- lam Mendukung Efisiensi dan Pengembangan Energi Baru Terbarukan	Institut National De L'Energie Solaire, Aix Les Bains, Perancis:	2015
7	Program Risetpro Nongelar: Tailor Made Course on the Fabrication of Solar Module Based on Dye-Sensitized Solar Cells	Dynamo AB, Stockholm, Swedia	2016
8	Program Risetpro Nongelar: Tailor Made Course on Nano Biosensor for Biomedical and Health Pemantauan: Fabrica- tion and Characterization	Technische Univertitat Braunswieg, Jerman	2017

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

<b>No.</b>	<b>Jabatan/Pekerjaan</b>	<b>Nama Instansi</b>	<b>Tahun</b>
1	Kepala Seksi Pelayanan Teknis, es. 4	Puslitbang Telkoma LIPI	1994–1996
2	Kepala Bidang Bahan dan Komponen Mikroelektronika, es. 3	Puslit Elektronika dan Telekomuni- kasi LIPI	2008–2014

#### **E. Jabatan Fungsional**

<b>No.</b>	<b>Jenjang Jabatan</b>	<b>TMT Jabatan</b>
1	Asisten Peneliti Muda	1 September 1995
2	Ajun Peneliti Madya	1 April 2002
3	Peneliti Madya Gol. IVb	1 September 2004
4	Peneliti Madya Gol. IVc	1 April 2007
5	Peneliti Utama Gol. IVd	1 April 2014

## F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1	Peneliti Utama Riset Unggulan Terpadu IX: Rancang Bangun Miniatur Gas Kromatografi dengan Teknologi Silicon Micromachining	Kementerian Riset dan Teknologi (KNRT)	2002–2003
2	Peneliti Utama Program Insentif: Rancang Bangun Sistem Sensor Berbasis MEMs untuk Pemantauan Pencemaran Lingkungan	Kementerian Riset dan Teknologi (KNRT)	2010
3	Koordinator Program Ristekdikti, Prototipe Teknologi untuk Masyarakat: Pemanfaatan Teknologi Online Pemantauan Kualitas Air Berbasis Wireless Sensor Dalam Meningkatkan Efisiensi Pengelolaan Budi Daya Udang di Provinsi Bangka Belitung	KEMENRIS-TEKDIKTI	2017
4	Peneliti Utama Program INSINAS: Pengembangan Autonomous Self-Powered Wireless Multi Parameter Sensor untuk Sistem Peringatan Dini Bencana Pencemaran Air	KEMENRIS-TEKDIKTI	2017–2019

## G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan, Tempat	Peran/Tugas	Tahun
1	Training Laser Direct Writing System (LDWS), Intertech Sys., Kanada	Peserta	1993
2	Seminar ASEAN, ASEAN COST, Thailand	Pembicara	1994

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan, Tempat</b>	<b>Peran/Tugas</b>	<b>Tahun</b>
3	Training Ellipsometry, Miwaopto Corp, Jepang	Peserta	1994
4	Seminar-Workshop on Hybrid Technology, Institut Teknologi Bandung	Ketua Panitia	1995
5	Australian Symposium on Analytical Chemistry, Adelaide, Australia	Pembicara	1997
6	Far East and Pacific Rim Symposium on Smart Materials, Structures, and Mems, Adelaide, Australia	Pembicara	1997
7	The 14 <sup>th</sup> Australian Microelectronics Conference – Micro'97, Melbourne, Australia	Pembicara	1997
8	Australian International Symposium on Analytical Science, AISAS'99, Melbourne, Australia	Pembicara	1999
9	Asia Pacific Symposium on Microelectronics and Mems, Gold Coast, Australia	Pembicara	1999
10	Simposium Fisika Nasional XVIII, Serpong	Pembicara	2000
11	Electric, Control, Communication & Information Seminar (ECCIS), Malang	Pembicara	2000
12	Pemaparan Hasil Litbang Ilmu Pengetahuan Teknik	Pembicara	2000
13	IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), Port Dickson, Malaysia	Pembicara	2000
14	Industrial Electronics Seminar (IES), Surabaya	Pembicara	2000
15	Seminar Nasional IX Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta	Pembicara	2000

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan, Tempat</b>	<b>Peran/Tugas</b>	<b>Tahun</b>
16	Seminar Nasional I Jurnal Bahan Konduktor Padat, Serpong	Pembicara	2001
17	Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (SITIA), Surabaya	Pembicara	2001
18	International Conference on Electrical, Electronics, Communication, and Information (CECI), Jakarta, Indonesia	Pembicara	2001
19	Indonesian German Conference on Instrumentation, Measurements, and Communications for the Future, Bandung, Indonesia	Pembicara	2001
20	Simposium Fisika Nasional XIX, Universitas Udayana, Bali	Pembicara	2002
21	Seminar Nasional Pengembangan Program R & D Mikroelektronika dan Aplikasinya	Pembicara	2003
22	Kuliah Tamu: Teknologi Micromachining, Universitas Muhammadiyah Malang	Pembicara	2003
23	Seminar Nasional XIII Kimia dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta	Pembicara	2004
24	Electric, Control, Communication & Information Seminar (ECCIS), Malang	Pembicara	2004
25	The 7 <sup>th</sup> ASEAN Science and Technology Week: Sub Committee Conference on Microelectronics and Information Technology, Jakarta, Indonesia	Pembicara	2005



<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan, Tempat</b>	<b>Peran/Tugas</b>	<b>Tahun</b>
26	Workshop Rehabilitasi Sungai (Prinsip, Teknologi dan Aplikasi), Surabaya	Pembicara	2005
27	The 5 <sup>th</sup> International Workshop on Microelectronics: Wireless Tehnology and MEMs, Kuala Lumpur, Malaysia	Pembicara	2005
28	Seminar Nasional VIII Kimia dalam Pembangunan, Yogyakarta	Pembicara	2005
29	XL – Indonesia Mobile – Com Creativity Contest, ITS Surabaya	Juri	2006
30	Seminar Nasional Tenaga Listrik dan Mekatronika, Bandung	Pembicara	2006
31	International Conference on Optics and Laser Applications (ICOLA), Yogyakarta, Indonesia	Pembicara	2007
32	Seminar Nasional Perkembangan Ilmu Material dalam Mendukung Perangkat Elektronika, Universitas Lampung	Pembicara	2008
33	Seminar Pemaparan Hasil Litbang Ilmu Pengetahuan Teknik IV, Bandung	Pembicara	2008
34	Seminar Penulisan Paper untuk Jurnal Internasional, Institut Teknologi Telkom, Bandung	Pembicara	2009
35	Pelatihan Peningkatan Peneliti Dalam Menyiapkan proposal dan Penyajian Hasil Penelitian, Lampung	Pembicara	2009
36	Workshop Peningkatan Profesionalisme Peneliti Kedeputusan Bidang IPT LIPI, Yogyakarta	Pembicara	2010

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan, Tempat</b>	<b>Peran/Tugas</b>	<b>Tahun</b>
37	The 4th IMEN-LIPI Joint Seminar on Electronic Devices, MEMs and Nanotechnology, Pullman Putrajaya, Malaysia	Pembicara	2010
38	The 5 <sup>th</sup> Electrical Power, Electronics, Communications, Control & Informatics International Seminar (EEC-CIS), Brawijaya University, Indonesia	Pembicara	2010
39	Workshop Peningkatan Kualitas Penelitian Muda di Lingkungan Kedepujian Bidang IPT – LIPI, BBPTTG, Subang	Pembicara	2011
40	The 6th Joint Seminar IMEN-LIPI on Microelectronics Devices, System and Instrumentation, Kuala Lumpur, Malaysia	Pembicara	2012
41	The 8th IMEN-LIPI Joint Seminar, Universitas Kebangsaan Malaysia	Pembicara	2014
42	International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA), Kuala Lumpur, Malaysia	Pembicara	2015
43	IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Beijing, China	Pembicara	2015
44	International Conference on Mechanical Engineering and Electrical Systems (ICMES), Singapore	Pembicara	2015
45	International Conference on Sensors and Mechanical Automation (ICSMA), Bali, Indonesia	Pembicara	2016
46	International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), Kuala Lumpur, Malaysia	Pembicara	2016

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan, Tempat</b>	<b>Peran/Tugas</b>	<b>Tahun</b>
47	International Conference on Electronics Engineering and Informatics (ICEEI), Tokyo, Jepang	Pembicara	2016
48	Seminar Nasional Elektro Festival (ELFEST), Universitas Udayana, Bali	Pembicara Tamuh	2017
49	International Conference on Material Science and Engineering Technology (ICMSET), Seoul, Korea	Pembicara	2017
50	Workshop on Nano Material and Sensor Technology, Bandung	Pembicara	2018
51	International Conference on Enhanced Research and Industrial Application (ICERIA), Bali, Indonesia	Pembicara	2018
52	One Day Seminar: Smart Sensor and Its Applications, Bandung	Pembicara	2019

#### **H. Editor Jurnal/Prosiding**

<b>No.</b>	<b>Nama Jurnal/Prosiding</b>	<b>Peran/Tugas</b>	<b>Tahun</b>
1	Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi	Anggota Dewan Redaksi	2008–2015
2	Jurnal Teknologi Indonesia	Editor/Referee	2009–2015
3	Proceedings of International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)	Section Editor	2012
4	LIPI Press	Anggota Dewan Editor	2012–2014
5	Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering and Electrical Systems (ICMES)	Anggota Science Referee	2015–2016
6	Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi (JET)	Editor in Chief	2016–2017

No.	Nama Jurnal/Prosiding	Peran/Tugas	Tahun
7	Proceedings of International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunication (ICRAMET)	Anggota Science Referee	2015–2016
8	Proceedings of the 2 <sup>nd</sup> International Conference on Appropriate Technology Development (ICATDev)	Anggota Science Referee	2016

### I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	16
2	Bersama Penulis lainnya	90
	Total	106

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Bahasa Indonesia	61
2	Bahasa Inggris	45
3	Bahasa lainnya	-
	Total	106

### J. Pembinaan Kader Ilmiah

#### Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1	I Dewa Putu Hermida	PPET LIPI	Ketua Keltian Smart Sensor	2014–sekarang
2	Slamet Widodo	PPET LIPI	Ketua Keltian Smart Sensor	2014–sekarang
3	Grace A. Mambu	PPET LIPI	Ketua Keltian Smart Sensor	2014–2016

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
4	Gandi Sugandi	PPET LIPI	Ketua Keltian Smart Sensor	2016–sekarang
5	Robeth V. Manurung	PPET LIPI	Ketua Keltian Smart Sensor	2016–sekarang
6	Putri Hayuningtyas	Balitbang KEMHAN	Pembimbing Penelitian	2017
7	Brilliant Adhi Prabowo	PPET LIPI	Ketua Keltian Smart Sensor	2017–2019
8	Erry Dwi Kurniawan	PPET LIPI	Ketua Keltian Smart Sensor	2018–sekarang
9	Asih Setiarini	PPET LIPI	Ketua Keltian Smart Sensor	2018–sekarang

### Mahasiswa

No.	Nama Bimbingan	PT/Universitas	Tahun Lulus
1	Muhammad Husni Thamrin (S1)	Universitas Padjadjaran Bandung	2002
2	Agus Iwan Supartawan (S1)	Institut Teknologi Nasional	2003
3	Arrahman Sayuti (S1)	Institut Teknologi Nasional	2003
4	Riris Rismawati (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2008
5	Ipit Ganda Permana (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2008
6	R. Irfan Santika (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2008
7	Supeno Martadi (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2008
8	Andri Priyatna (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2008
9	Rodiyat (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2008

<b>No.</b>	<b>Nama Bimbingan</b>	<b>PT/Universitas</b>	<b>Tahun Lulus</b>
10	Roma Maleaki (S1)	Universitas Padjadjaran Bandung	2009
11	Putra Wijaya (S1)	Universitas Padjadjaran Bandung	2009
12	Rossi Sangra (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2011
13	Moch. Iman Prasetyo D (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2011
14	Mirza Nur Hidayat (S2)	Universitas Indonesia	2011
15	Beni Rama (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2015
16	Abdul Fatah (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2015
17	Dimas Sukma Batara (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2015
18	Zaenal Arifin (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2015
19	Arip Syaripudin Nur (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2017
20	PriyaniKusrini (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2017
21	Muhammad Miftah Waliyuddin (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2017
22	Rahardian Sri Pamungkas (S1)	Universitas Pendidikan Indonesia	2017
23	Gilang Pangestu Aji (S1)	Universitas Komputer Indonesia	2018
24	Agung Muhamad Mutaqin (S1)	Universitas Komputer Indonesia	2018
25	Al Fatin Fernanda (S1)	Universitas Komputer Indonesia	2019

## K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1	Anggota	Himpunan Fisika Indonesia	2002–2003
2	Anggota	IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	2007–2011
3	Ketua	Konsorsium DSSC (Dye Sensitized Solar Cells)	2013
4	Anggota	Himpenindo	2019–sekarang

## L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Certificate of Merit in Fundamental Concepts of Mathematics I	Michigan Technological University, USA	1992
2	Certificate of Merit in Numerical Linear Algebra	Michigan Technological University, USA	1992
3	Satya Lencana Karya Satya 10 Tahun	Presiden RI	2003
4	The Best Presentation	International Scientific Instrument Technology Workshop, Taiwan	2006
5	Satya Lencana Karya Satya 20 Tahun	Presiden RI	2009
6	Best Presenter Award	IACT International Conference on Mechanical Engineering and Electrical Systems (ICMES), Singapore	2015
7	Best Presenter Award	IACT International Conference on Sensors and Mechanical Automation, Bali	2016



## **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.