

**INSTRUMENTASI NERACA AIR DALAM
SISTEM PENGAMAT HIDROMETEOROLOGI
TERPADU UNTUK UPAYA MEWUJUDKAN
KETAHANAN AIR**

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 TEKNOLOGI INSTRUMENTASI**

**INSTRUMENTASI NERACA AIR DALAM
SISTEM PENGAMAT HIDROMETEOROLOGI
TERPADU UNTUK UPAYA MEWUJUDKAN
KETAHANAN AIR**

OLEH:

SENSUS WIJONARKO

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 27 JULI 2021**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2021 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Fisika

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Instrumentasi Neraca Air dalam Sistem Pengamat Hidrometeorologi Terpadu untuk Upaya
Mewujudkan Ketahanan Air/Sensus Wijonarko. Jakarta: LIPI Press, 2021.

ix + 77 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-496-242-5 (cetak)
978-602-496-241-8 (e-book)

1. Instrumentasi Neraca Air 2. Sistem Pengamat Hidrometeorologi Terpadu
3. Ketahanan Air

551.57

Copy editor : Sonny Heru Kusuma
Proofreader : Sarwendah Puspita Dewi
Penata Isi : Dhevi E.I.R. Mahelingga
Desainer Sampul : Meita Safitri

Cetakan : Juli 2021



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
website: lipipress.lipi.go.id

 LIPI Press
 @lipi_press
 @lipi.press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BIODATA RINGKAS



Sensus Wijonarko, lahir 4 Oktober 1961 di Yogyakarta, adalah anak ke-7 dari Drs. H. Rahmono (alm.) dan Hj. Rustini (almh.). Menikah dengan drg. Pujiati Sri Lestari dan dikaruniai satu putri, yaitu Erla Mychelida, S.E., M.Bkg&Fin. serta satu putra bernama Elka Mychelida, S.Si.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 203/M Tahun 2014 tanggal 5 Desember 2014, yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai tanggal 1 Juni 2014.

Berdasarkan Surat Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Nomor 165/A/2021 tanggal 21 Juni 2021 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar BOPKRI Bintaran Yogyakarta, tahun 1973; Sekolah Menengah Pertama PIRI II Bersubsidi Yogyakarta, tahun 1976; dan Sekolah Menengah Atas Negeri IKIP 1 (sekarang bernama SMAN 9) Yogyakarta, tahun 1980. Memperoleh gelar Sarjana Muda (B.E.) Teknik Elektro dari UGM tahun 1985, Sarjana (Ir.) Keisyaratan (Elektronika) dari Teknik Elektro UGM tahun 1986, *Master of Science (M.Sc.) Instrument Design and Application* dari *Electrical Engineering and Electronics*, University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) dan The Victoria University of Manchester (sekarang keduanya bergabung menjadi University of Manchester) tahun 1998, dan Doktor bidang Lingkungan Hidup pada Program Studi Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup dari Universitas Negeri Jakarta tahun 2009.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain pemodelan untuk parameter udara di Bandung (tahun 1991) dan telekomunikasi seluler di Bandung (tahun 1994).

Menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Laboratorium Instrumentasi Hidrometeo (2000–2001) dan Kepala Bidang Instrumentasi Pusat Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi LIPI (2009–2014). Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/a tahun 1988, Peneliti Ahli Muda golongan III/c tahun 1999, Peneliti Ahli Madya golongan IV/a tahun 2003, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d bidang Teknologi Instrumentasi tahun 2014.

Menghasilkan 93 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 20 KTI ditulis dalam bahasa Inggris. Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing penulisan ilmiah, pembimbing kerja praktik mahasiswa S1 Universitas Negeri Jakarta, pembimbing skripsi mahasiswa S1 Universitas Sumatra Utara, dan pembimbing disertasi mahasiswa S3 Universitas Indonesia.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai Ketua PPI KIM atau Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi, dan Metrologi LIPI (2009–2010), anggota HIMII atau Himpunan Masyarakat Instrumentasi Indonesia (1987–sekarang), Himpenindo atau Himpunan Peneliti Indonesia (2014–sekarang), IADLI atau Ikatan Ahli Dampak Lingkungan Indonesia (2004–sekarang), *reviewer* PPI (2009–2018), *reviewer* Jurnal Instrumentasi LIPI (2014–2018), dan *reviewer* Jurnal Instrumentasi BSN (2019–sekarang). Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya 10 Tahun (tahun 2001), 20 Tahun (tahun 2011), dan 30 Tahun (tahun 2018) dari Presiden RI.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS.....	v
DAFTAR ISI	vii
PRAKATA PENGUKUHAN.....	ix
I. PENDAHULUAN.....	1
II. PERKEMBANGAN SISTEM PENGAMAT HIDROMETEOROLOGI TERPADU.....	4
2.1 Sistem Pengamat Hidrometeorologi Non-global	5
2.2 Sistem Pengamat Hidrometeorologi Global	8
III. PENGEMBANGAN INSTRUMENTASI NERACA AIR UNTUK KETAHANAN AIR.....	10
3.1 Pengembangan dari Aspek Neraca Air	10
3.1.1 Instrumentasi Neraca Air Kalang Terbuka.....	10
3.1.2 Instrumentasi Neraca Air Kalang Tertutup.....	18
3.2 Pengembangan dari Aspek Instrumentasi	20
3.2.1 Pengembangan Instrumentasi Neraca Air untuk Aplikasi di PDAM dan SubDAS Sekitarnya.....	20
3.2.2 Pengembangan Instrumentasi Neraca Air Berbasis Metode Pengukuran	22
IV. STRATEGI, PROGRAM, DAN PENERAPAN INSTRUMENTASI NERACA AIR.....	25
4.1 Strategi.....	25
4.2 Program	26
4.3 Penerapan	27
V. KESIMPULAN.....	28
VI. PENUTUP	29
UCAPAN TERIMA KASIH	30
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN	43
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	51
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	61
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	62

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Assalaamualaikum warahmatullaahi wabarakaatuh,

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia, yang terhormat Kepala BRIN, Plh. Kepala LIPI, 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 (*Research Professor*) di LIPI. Untuk itu, pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan penulis memohon doa restu dan kesempatan menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“INSTRUMENTASI NERACA AIR DALAM SISTEM
PENGAMAT HIDROMETEOROLOGI TERPADU UNTUK
UPAYA MEWUJUDKAN KETAHANAN AIR”.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Ketahanan air (*water resilience*) merupakan salah satu masalah utama bagi sebagian besar negara di dunia saat ini. Ketahanan air adalah keterpenuhan kebutuhan air yang layak dan berkelanjutan untuk kehidupan dan pertumbuhan/pembangunan serta terkelolanya risiko yang berkaitan dengan air¹. Ketahanan air juga berarti kondisi ketersediaan air, baik secara kuantitas maupun kualitas, yang sesuai dengan kebutuhan untuk menjamin kesehatan dan keamanan risiko terhadap kelangsungan hidup manusia dan ekosistem². Ada berbagai hal yang membuat ketahanan air itu pada umumnya bermasalah. Sekitar 90% dari semua bencana alam (seperti kekeringan, banjir, dan polusi) terkait dengan air³, sementara kerusakan terbesar di permukaan bumi saat ini adalah karena bencana⁴. Lebih dari 80% air limbah di seluruh penjuru dunia kembali ke lingkungan tanpa diolah⁵ sehingga sebagian air hujan sebagai bahan baku air bersih menjadi terkontaminasi ketika mengenai air limbah tersebut.

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai masalah dengan ketahanan air karena menjadi salah satu negara yang terancam kekurangan air bersih⁶. Nisbah konsumsi terhadap ketersediaan (K2) air biru (air permukaan dan air tanah) di Indonesia sudah mencapai 23% (156 km³/tahun dari 692 km³/tahun)⁷, sedangkan nisbah K2 di dunia yang memiliki ketersediaan air biru 42.900 km³/tahun mencapai 9%⁸. Dari penggolongan: tidak kritis (<25%), kritis ringan (25%–50%), kritis sedang (50%–100%), dan kritis berat (> 100%)⁹, K2 rata-rata Indonesia tergolong tidak kritis, namun boleh jadi ada daerah-daerah tertentu yang sudah kritis.

Air mempunyai peran yang tidak dapat diganti oleh zat lain karena mempunyai minimum 38 manfaat, seperti untuk minum,

masak, mencuci, dan mandi¹⁰ serta terus-menerus bersirkulasi di seluruh penjuru dunia dengan kapasitas rata-rata 110.000 km³/tahun⁸. Ketahanan air juga merupakan dasar atau prasyarat bagi ketahanan pangan dan ketahanan energi⁶ serta kesehatan sehingga masalahnya perlu diatasi secara lebih serius.

Ketahanan air suatu kawasan dapat diperkirakan dari neraca air (keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air)¹¹ yang didapat melalui metode perhitungan tentang pergerakan air di atas tanah, di dalam tanah, di atmosfer, dan di antara atmosfer dan tanah¹², atau menghitung jumlah air yang masuk, tersimpan, dan keluar¹³. Perhitungan ini mampu mendapatkan neraca air dalam lingkup luas, tetapi perlu data yang lama dan ahli yang dapat melakukannya¹⁴. Hasil perhitungan masih berupa neraca air rata-rata, misalnya dalam satuan bulanan¹⁵. Hasil rata-rata tersebut mempunyai beberapa kelemahan, di antaranya tidak dapat dipakai untuk melihat kondisi sesaat.

Penulis menggunakan istilah neraca air di sini untuk menekankan pada kesetimbangan atau keseimbangan (*balance*) air antara bagian masukan (*input*) dengan bagian proses dan luaran (*output*). Keseimbangan ini berlaku baik untuk neraca air kalang terbuka (*water budget*) sebagaimana dikemukakan dalam 3.1.a maupun neraca air kalang tertutup yang berbentuk siklus (*water balance*), yang juga dikemukakan dalam 3.1.b. Meskipun demikian, *European Commission* (2015) menuliskan *water balance* itu sama dengan *water budget*¹⁶.

Kesulitan untuk menyediakan data yang panjang dan tenaga ahli khusus tersebut dapat diatasi atau dikurangi dengan metode pengukuran neraca air memakai instrumentasi neraca air^{17,18} yang diharapkan dapat menjadi salah satu bagian dari sistem pengamat hidrometeorologi terpadu pada masa mendatang. In-

strumentasi ini dapat mengukur neraca air secara otomatis suatu wilayah seperti sub-sub-DAS dan dapat dikembangkan sebagai pengendali air di kawasan tersebut.

Berdasarkan uraian tersebut, perlu dilakukan kegiatan riset lanjutan dan penerapan instrumentasi neraca air agar dapat menjadi mitra metode perhitungan neraca air yang sudah ada. Metode perhitungan dipakai untuk mengetahui garis besarnya, sedangkan metode pengukuran digunakan untuk mengetahui rinciannya. Instrumentasi neraca air ini juga dapat berfungsi sebagai kalibrator perhitungan neraca air dan bisa menjadi pembanding dengan instrumentasi neraca air di tempat-tempat lain yang menerapkannya terutama bila sudah terintegrasi dalam sistem pengamat hidrometeorologi global. Sistem pengamat hidrometeorologi global yang saling terintegrasi direncanakan akan berfungsi penuh mulai tahun 2040¹⁹.

Naskah orasi ini membahas pengembangan instrumentasi neraca air dalam sistem pengamat hidrometeorologi terpadu untuk memperbaiki ketahanan air. Bab I membahas keterkaitan antara instrumentasi neraca air, sistem pengamat hidrometeorologi terpadu, dan ketahanan air. Bab II mengulas perkembangan sistem pengamat hidrometeorologi terpadu. Bab III mendiskusikan pengembangan instrumentasi neraca air untuk memperbaiki ketahanan air, dan Bab IV membahas strategi, program, dan penerapan instrumentasi neraca air. Bab V dan VI masing-masing menyampaikan kesimpulan dan tantangan mendatang.

II. PERKEMBANGAN SISTEM PENGAMAT HIDROMETEOROLOGI TERPADU

Instrumentasi (sistem pengamat) adalah sekumpulan instrumen²⁰, sedangkan instrumen adalah alat atau sistem untuk mengukur atau memantau²¹ atau mengendalikan sesuatu besaran (*object, variable, measurand*)²². Hidrometeorologi adalah bidang penelitian interdisiplin untuk mempelajari pengalihan dan pertukaran air dan energi antara tanah dan atmosfer bagian bawah²³, atau ringkasnya masalah siklus hidrologi^{24,25}. Perkembangan sistem pengamat hidrometeorologi terpadu ini secara ringkas (Tabel 1) akan diuraikan menjadi dua bagian, yaitu perkembangan yang bersifat non-global (dulu–sekarang) dan global (sekarang–mendatang).

Tabel 1. Perkembangan sistem pengamat hidrometeorologi yang disarikan dari berbagai sumber^{26,27,28,29}

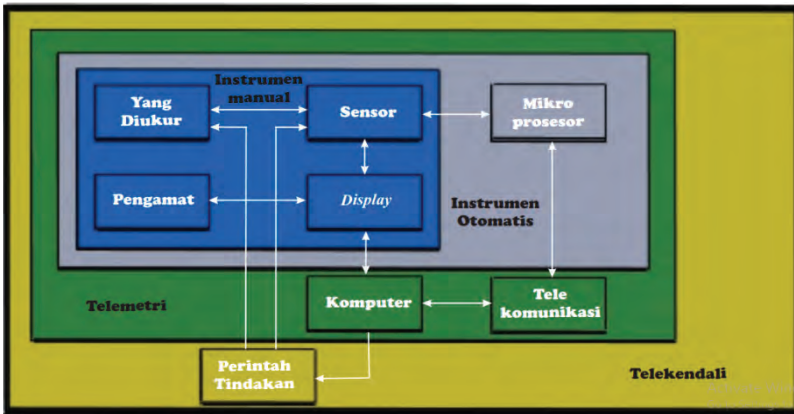
Aspek	Non-global	Global
Sistem	Sederhana	Kompleks
Besaran	Utama	Turunan
Sensor	Makrostruktur	Mikrostruktur
Teknologi dominan	Mekanik	Teknologi Informasi
Waktu	Lokal	Sinoptik
Tempat	Terjangkau	Sangat terpencil
Wahana	Terbatas	Beraneka macam
Jalur energi dan data	Terpisah	Menyatu

Sumber: WMO (2020); Guaraglia (2014); Boyes (2009); Uijlenhoet (2006).

Sistem pengamat hidrometeorologi antara lain berfungsi untuk memprakirakan cuaca harian, menentukan jenis iklim, menyarankan saat terbaik menanam, memutuskan saat keluar-masuknya kapal, memberikan profil data kecepatan angin, dan menentukan arah lepas-landas pesawat terbang. Meskipun berperan banyak, sistem pengamat hidrometeorologi saat ini masih kurang terlihat perannya dalam ketahanan air.

2.1 Sistem Pengamat Hidrometeorologi Non-global

Sistem pengamat hidrometeorologi non-global adalah sistem pengamat hidrometeorologi yang objeknya bersifat lokal atau regional. Sistem pengamat ini bisa berbentuk manual, otomatis, telemetri, atau telekendali (Gambar 1).



Sumber: Guaraglia (2014); Boyes (2009).

Gambar 1. Elemen-elemen penyusun instrumen^{27,28} yang telah disederhanakan, dimulai dari bentuk yang paling sederhana sampai paling rumit, yaitu manual, otomatis, telemetri, dan telekendali.

Sistem pengamat hidrometeorologi manual terdiri dari objek hidrometeorologi yang diukur, sensor hidrometeorologi, *display*, dan pengamat. Objek hidrometeorologi dapat berupa temperatur³⁰, curah hujan^{31,32}, air yang tersangkut tanaman/benda lainnya (*interception*)³³, penguapan (*evaporation*)^{34,35,36}, transpirasi (*transpiration*)¹¹, genangan air di permukaan tanah (*depression storage*) seperti volume air danau³⁷, air yang menyusup ke dalam tanah permukaan (*infiltration*)^{38,39,40}, air larian (*runoff*)^{41,42,43}, ketinggian air (*water level*)^{44,45}, lama penyinaran matahari (*sunshine duration*)^{46,47}, dan kecepatan angin (*wind speed & wind direction*)^{48,49}.

Sensor adalah alat yang digunakan untuk mengindera objek yang diukur. Sensor sekarang ini sudah jauh berkembang, sehingga dapat mengukur objek dalam skala yang jauh lebih besar, atau sebaliknya jauh lebih kecil, dibandingkan objek pengukuran hidrometeorologi masa lalu.

Display untuk sistem pengukur manual biasanya sangat sederhana. Pengukur curah hujan jenis observatori⁵⁰, misalnya hanya berupa gelas ukur di mana garis-garisnya menunjukkan ukuran yang diamati dengan mata tanpa bantuan alat.

Sistem pengamat hidrometeorologi otomatis mempunyai suatu ciri yang tidak dimiliki sistem pengukur manual, yaitu adanya pengolah data misalnya mikroprosesor. Sensor curah hujan jenis cawan berjungkit (*tipping bucket raingauge*, TB), yang dibuat Wren tahun 1662, mungkin dapat dianggap sebagai cikal bakal instrumentasi otomatis karena di dalamnya sudah ada proses pengubahan sinyal analog ke digital sehingga dapat langsung dihubungkan ke pengolah data. TB^{51,52,53} sampai saat ini masih banyak dipakai di seluruh dunia dan dapat dikembangkan menjadi sensor infiltrasi^{11,38} dan intersepsi^{33,54}.

Telemetri (*telemetry*, *telemetering*) atau pengukuran jarak jauh^{55,56,57} pada dasarnya merupakan pengukuran di mana elemen sensor dan elemen pengolah datanya terpisah secara fisik. Telemetri digunakan pertama kali oleh Shilling pada tahun 1812, tetapi baru diterapkan dalam meteorologi oleh Olland pada tahun 1874.

Telekendali melengkapi telemetri. Dalam telekendali ini terdapat umpan balik (*feed back*)⁵⁸ dan mungkin umpan depan (*feed forward*) sehingga pengukuran dapat dikendalikan. Telemetri dan telekendali ini sudah mampu membuat sistem terpadu, namun belum global.

Sistem pengamat hidrometeorologi menjadi berkembang pesat setelah mengadopsi teknologi informasi seperti *intranet*, *internet*, dan bahkan *internet of things* (IoT), yaitu instrumen-instrumen saling dihubungkan guna membentuk instrumentasi yang lebih besar. Sebagai contoh, PDAM Bangka Barat telah membangun sistem pemantau untuk menyimpan airnya dengan menggunakan *hand phone* (HP) pada tahun 2014–2017⁵⁹.

Waktu, tempat, wahana (*platform*), dan penyedia daya juga memacu sistem pengamat hidrometeorologi. Aspek-aspek ini memicu sistem pengukuran sinoptik (pengukuran serentak pada saat yang sama di berbagai penjuru dunia); *global positioning system* (GPS)⁶⁰; stasiun pengamatan seperti kapal, mobil, balon, pesawat, dan satelit; dan instrumentasi yang makin kecil, tetapi makin dapat menjangkau tempat yang jauh (*long range low power system*).

Selanjutnya akan dilihat perkembangan instrumentasi hidrometeorologi mengenai neraca air secara sepintas. Cichoń dan Królikowska (2016) menuliskan adanya perbedaan yang bermakna antara hasil pengukuran neraca pasokan dan permintaan air di lima apartemen⁶¹. Lv dkk. (2017) mengemukakan, neraca air tahunan di DAS Sungai Kuning dan DAS Sungai Yangtse selalu berubah-ubah⁶². García-López dkk. (2018) menyatakan kamera pada *unmanned aerial systems* (UAS) dapat memperkirakan volume air di lahan basah dengan lebih tepat⁶³. Seo dan Kim (2019) menuliskan kebakaran menurunkan transpirasi dan menaikkan evaporasi tanah global⁶⁴. Sriwongsitanon dkk. (2020) menyebutkan, hasil evaporasi dari tujuh produk penginderaan jauh lebih bagus dipakai untuk skala tahunan dibandingkan bulanan⁶⁵. Grinevskiy menulis perubahan iklim menaikkan pengisian air di tengah dan utara Rusia bagian Eropa antara 50–60 mm/tahun⁶⁶.

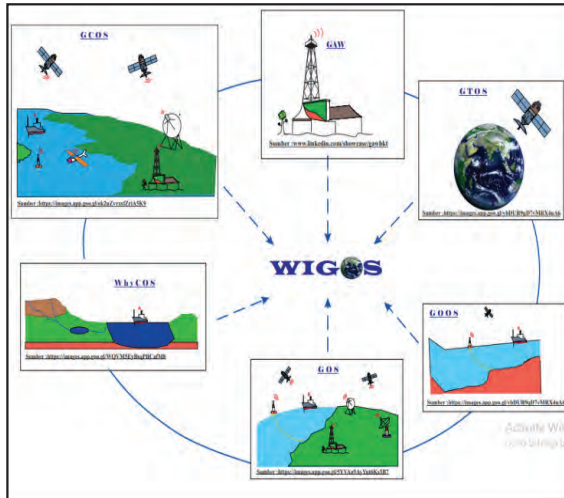
Ada beberapa benang merah dari penelitian-penelitian tersebut. Pertama, neraca air menggambarkan ketahanan air di daerah kajian, khususnya dalam aspek kuantitas, kontinuitas, dan keterjangkauan air. Kedua, neraca air mempunyai spasial dari kecil sampai global dan temporal yang umumnya tahunan. Ketiga, belum ada peneliti yang mengklaim instrumentasi neraca air sebagaimana yang telah dilakukan Wijonarko¹⁷.

2.2 Sistem Pengamat Hidrometeorologi Global

Sistem pengamat hidrometeorologi global merupakan sistem yang mampu mengamati kondisi hidrometeorologi di sebagian besar atau seluruh penjuru dunia. *Global Atmosphere Watch (GAW)*, *Global Terrestrial Observing System (GTOS)*, *Global Ocean Observing System (GOOS)*, *Global Observing System (GOS)*, *World Hydrological Cycle Observing System (WhyCOS)*, atau *Global Climate Observing System (GCOS)* masing-masing sudah menerapkan sistem pengamat hidrometeorologi global, tetapi mereka belum saling dipadukan sehingga pengguna sistem-sistem tersebut tidak dapat memperoleh manfaat yang optimum²⁶.

Masalah integrasi sistem-sistem tersebut diharapkan bisa diatasi dengan *World Meteorological Organization Integrated Global Observing System (WIGOS)*, yaitu *state of the art* dari sistem pengamat hidrometeorologi global saat ini, dan bahkan mungkin beberapa dekade mendatang (Gambar 2). WIGOS yang dikelola bersama oleh National Meteorological and Hydrological Services (NMHSs)⁶⁷ negara-negara anggota WMO merupakan pendekatan terpadu untuk perbaikan dan evolusi sistem pengamat global *World Meteorological Organization (WMO)*, pusat kegiatan (*hub*) masa depan planet kita untuk pengamatan-pengamatan cuaca, iklim dan air¹⁹, dan tentunya menjadi pusat IoT hidrometeorologi sehingga membutuhkan

data besar (*big data*) dan otak buatan (*artificial intelligent*) guna menafsirkan data hidrometeorologi.



Sumber: WMO (2018); WMO (2020).

Gambar 2. WIGOS^{26,67} mengintegrasikan fungsi sistem-sistem pengamat hidrometeorologi global: GAW, GTOS, GOOS, GOS, WhyCOS, dan GCOS dalam satu kesatuan.

Visi WIGOS pada tahun 2040 adalah menyajikan skenario yang memungkinkan tentang bagaimana kebutuhan-kebutuhan pengguna untuk data pengamatan dapat berevolusi selama 20 tahun ke depan (dari tahun 2021), dan sebuah visi ambisius, tetapi layak secara teknik dan ekonomi untuk sistem pengamatan terpadu yang akan memenuhi kebutuhan para anggotanya²⁶. Visi ini memberikan target-target tingkat tinggi untuk memandu evolusi WIGOS dalam beberapa dekade mendatang; dan mengantisipasi suatu kerangka kerja WIGOS yang dapat dikembangkan dan diimplementasikan sepenuhnya guna mendukung semua kegiatan WMO dan para anggotanya di dalam bidang cuaca, iklim, dan air secara umum²⁶.

III. PENGEMBANGAN INSTRUMENTASI NERACA AIR UNTUK KETAHANAN AIR

Metode utama dalam penelitian instrumentasi neraca air adalah metode pengembangan model (*model development*)³². Metode ini tersusun atas berbagai kegiatan perumusan masalah, pengumpulan data, desain prototipe, validasi desain, revisi desain, pengembangan prototipe, uji coba laboratorium, uji coba lapangan, revisi prototipe, pemasangan di lapangan, dan evaluasi.

Instrumentasi neraca air merupakan sistem pengamat hidrometeorologi yang khusus digunakan untuk mengukur neraca air atau parameter-parameter neraca air. Pengembangan instrumentasi neraca air ini akan dikemukakan dari aspek neraca air dan aspek instrumentasi. Cara kerja instrumentasi neraca air dijelaskan di bawah ini.

3.1 Pengembangan dari Aspek Neraca Air

Instrumentasi neraca air dapat dibagi menjadi dua, yaitu instrumentasi neraca air kalang terbuka dan instrumentasi neraca air kalang tertutup.

3.1.1 Instrumentasi Neraca Air Kalang Terbuka

Instrumentasi neraca air kalang terbuka (searah) adalah instrumentasi neraca air yang neraca airnya tidak memiliki umpan balik (air di bagian keluaran dalam neraca air tersebut tidak ada yang kembali ke bagian masukannya). Salah satu instrumentasi neraca air kalang terbuka telah dibangun tahun 1987–1989 dan 1991, di mana penulis bertindak sebagai salah satu *engineer* pelaksana, untuk membantu pengelolaan air di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Cirata, Jawa Barat (Gambar 3). Sistem ini terdiri dari subsistem telemetri hidrometeorologi⁵⁷, subsistem komunikasi suara⁶⁸, dan subsistem peringatan bahaya (dini)^{69,70}.



Gambar 3. Instrumentasi neraca air kalang terbuka dalam bentuk yang disederhanakan yang dibangun untuk PLTA Cirata mulai tahun 1987⁵⁵.

Subsistem yang pertama adalah subsistem telemetri hidrometeorologi yang digunakan untuk memperoleh data utama pengukuran waktu nyata (*real time*) dengan metode *Event Reporting System* (ERS). Metode ERS ini melakukan pengukuran atas inisiatif dari stasiun pengukur (*gauging station*) itu sendiri. Stasiun pengukurnya terdiri dari puluhan stasiun TB dan ketinggian air jenis pelampung yang dipasang di kawasan hulu (*up stream*), serta sebuah stasiun cuaca dan sebuah stasiun kualitas air (oksigen terlarut, temperatur, konduktivitas, kekeruhan, dan pH air)⁵⁵ yang dipasang dalam bendungan (*dam*) yang mendekati bagian hilir sehingga airnya sudah cukup jernih.

Subsistem ini terdiri dari tiga stasiun pengulang (*repeater station*), yaitu Stasiun Pengulang Gunung Panenjoan, Stasiun Pengulang Gunung Mananggal, dan Stasiun Pengulang Gunung Bengkung. Stasiun Pengulang Gunung Panenjoan dibuat bertingkat (*cascade*) dengan Stasiun Pengulang Gunung Mananggal. Stasiun Pengulang Gunung Panenjoan ini hanya khusus melayani Stasiun Pengukur Curah Hujan Gunung Halu.

Data yang sampai di Stasiun Gunung Mananggal dan Gunung Bengkung langsung dikirim ke Stasiun Induk (*master station*) yang dibuat ganda (*redundance*) aktif. Penerima data di Stasiun Induk dipasang di atas bukit, sedang bagian pengolah data dan penampil data dipasang di dalam *Dam Control Center* (DCC). Bagian pengolah data dan penampil data dalam stasiun induk juga dibuat rangkap dua sehingga sistem ini memiliki empat pengolah data dan empat penampil data yang masing-masing pasangan tersebut dapat melakukan tugas yang berlainan (*multi-tasking*) untuk operator yang berbeda (*multi-user*), dan dapat saling bertukar data guna penyamaan data.

Curah hujan dalam beberapa daerah tangkapan air (*water catchment area*) di daerah hulu diukur dengan belasan pengukur curah hujan. Pengukur curah hujan ini hanya bekerja dengan resolusi 1 mm. Dengan demikian, setiap perubahan curah hujan 1 mm, akan diukur oleh pengukur curah hujan di mana hujan tersebut berlangsung. Sebagian curah hujan yang mengenai permukaan daerah hulu akan mengalir ke sungai yang ada di situ.

Instrumen pengukur curah hujan dimasukkan dalam sebuah tabung melingkar dari aluminium. Tabung dilapisi (*coated*) zat khusus agar mempunyai konduktivitas listrik yang baik. Tabung dimasukkan lagi dalam sebuah tabung silindris yang dipendam dalam tanah di mana antara puncak tabung dengan permukaan tanah adalah sekitar tiga meter. Peletakan alat pengukur curah hujan yang ideal (sekitar 1,5 m dari permukaan tanah) tidak dapat dilakukan karena akan terhalang oleh pagar. Tabung silindris memperkecil risiko pencurian dan memperbesar perlindungan dari gangguan petir. Tabung diberi warna hijau guna memperkecil visibilitas oleh orang yang tidak diinginkan.

Ketinggian permukaan air sungai di daerah hulu diukur oleh pengukur ketinggian air. Resolusi ketinggian air sungai yang

dapat diukur adalah satu cm. Stasiun pengukur ketinggian air, misalnya, mencatat ketinggian air sungai 100 cm sebelum pengukuran. Data itu baru berubah bila permukaan airnya menjadi 101 cm atau 99 cm.

Sensor ketinggian air dipasang di pinggir sungai yang relatif berada di tempat yang rendah. Ini sangat menyulitkan dalam pengiriman data. Untuk itu, bagian sensor ini dipisah dengan bagian-bagian lain yang ada dalam stasiun pengukur ketinggian air. Sensor diletakkan dalam sumur ukur yang dibuat khusus agar air permukaannya tenang (*stilling well*). Selain itu, sensor ketinggian airnya juga dilengkapi dengan alat peredam riak air (*dampening device*). Dengan cara ini, data yang diukur merupakan permukaan air, bukan riak yang menyertai permukaan air. Sumur ukur ditempatkan dalam satu pos kecil guna menjaga keamanannya dari pencurian.

Antara pos kecil lokasi peralatan-peralatan pengukur ketinggian air lainnya dihubungkan dengan kabel data. Karena jaraknya bisa beberapa puluh meter, maka kabel data ini rawan terkena gangguan imbas petir. Untuk itu, masing-masing antara sensor ketinggian air dan kabel, serta antara kabel dengan mikroprosesor (*logic board*) dilengkapi dengan alat pelindung imbas petir pada kabel data (*arrester device*).

Di dalam stasiun pengukur curah hujan dan pengukur ketinggian air ini terdapat menara untuk tempat pemasangan antena jalur 450 MHz dan 70 MHz⁷¹. Puncak menara ini dipasang dengan penangkal petir yang dirancang mampu melindungi stasiun pengukur dari petir secara langsung (*direct strike*). Antara antena dan kabel koaksial yang menuju radio dilengkapi dengan *coaxial arrester* yang sesuai dengan diameter kabel koaksialnya. *Coaxial arrester* ini berfungsi untuk melindungi instrumentasi di stasiun pengukur dari imbas petir (*indirect strike*). Selain itu,

stasiun pengukuran ini dipagari dengan pagar kawat untuk memperkecil gangguan manusia atau binatang (*vandalism*). Pagar ini juga berfungsi seperti sangkar Faraday untuk memperkecil pengaruh dari hal-hal yang mengganggu (*interference*), khususnya dari petir yang mempunyai energi perusak sangat besar.

Data dari stasiun cuaca dan stasiun kualitas air hanya merupakan data tambahan untuk neraca air. Meskipun demikian, data ini juga penting. Pengukuran keasaman air yang terus-menerus dapat dipakai untuk mengoreksi umur bendungan dan peralatan PLTA yang telah diperkirakan sebelumnya. Selain itu, hasil pengukuran keasaman air dapat dipakai untuk mempertimbangkan jumlah keramba ikan dalam bendungan. Keramba ikan berpotensi meningkatkan keasaman (menurunkan pH) air melalui makanan dan kotoran ikan, dan ikan mati.

Perubahan debit sungai akan memengaruhi air dalam Bendungan Cirata. Pengaruh air masukan tersebut dipantau dari perubahan volume air di Bendungan Cirata. Data ini sangat penting bagi pengelola (PLN, Perusahaan Listrik Negara) dalam mengeluarkan air melalui saluran air menuju turbin (*intake*) dan melalui pintu buangan air bendungan (*spill way*) agar pembangkitan listrik bisa optimum dan bendungan tidak jebol. Dengan demikian, ada air untuk bagian-bagian masukan, proses, dan luaran, tetapi tidak ada air di bagian luaran yang langsung dikembalikan ke bagian masukan. Oleh karena itu, instrumentasinya di sini disebut dengan instrumentasi neraca air searah.

Proses pengiriman data dari stasiun pengukur ke stasiun induk di atas umumnya tidak langsung, tetapi melalui stasiun pengulang. Pengiriman data secara langsung umumnya tidak dapat dilakukan karena jauhnya jarak dan adanya berbagai penghalang, khususnya perbukitan. Penentuan stasiun pengulang ini memerlukan perhitungan (DS, *desk study*) yang dilanjutkan

dengan pengujian perambatan gelombang (RWPT, *radio wave propagation test*) dengan peralatan khusus.

DS dan RWPT dilakukan untuk tiga jalur (*band*) frekuensi, yaitu 70 MHz, 150 MHz, dan 450 MHz⁷¹. Jalur 70 MHz, 150 MHz, dan 450 MHz masing-masing digunakan untuk subsistem komunikasi suara, peringatan dini, dan telemetri hidrometeorologi. Subsistem komunikasi suara memakai metode komunikasi dua arah secara bergantian (*half duplex*), subsistem peringatan dininya menggunakan metode komunikasi dua arah yang dapat berlangsung secara bersamaan (*full duplex*), sedangkan sistem telemetrinya memakai metode komunikasi searah (*simplex*). Pemilihan jalur dan metode ini dilakukan sesuai kebutuhan dan untuk memperkecil gangguan antarjaringan komunikasi (*cross talk*).

Selain menggunakan metode *event reporting system*, pengiriman data telemetri hidrometeorologi ini juga memakai *time based system*. Sistem ini akan memberikan pelaporan dari setiap stasiun setiap satuan waktu tertentu, yang dapat diatur. Dengan cara ini, keadaan di setiap stasiun dapat diketahui. Petugas yang dilatih dalam menginterpretasikan data hasil pengukuran hidrometeorologi ini dapat mempunyai gambaran tentang kondisi peralatan yang ada di setiap stasiun.

Subsistem kedua adalah subsistem komunikasi suara. Subsistem ini lebih bersifat sebagai pendukung subsistem telemetri hidrometeorologi sehingga untuk penyederhanaan sengaja tidak disajikan dalam Gambar 3. Meskipun demikian, subsistem ini tetap mempunyai peran penting, khususnya dalam perawatan sistem yang pada waktu itu belum ada HP.

Setiap stasiun pengukur curah hujan dan ketinggian air dipasang kabel koaksial yang salah satu ujungnya terhubung dengan antena jalur 70 MHz untuk komunikasi suara. Radio

untuk stasiun pengukuran sendiri tidak dipasang tetap di setiap stasiun pengukuran, tetapi dapat dibawa-bawa (*portable*). Bila petugas datang ke stasiun pengukuran, ia akan membawa *handy talkie* (HT) untuk komunikasi suara. HT tersebut lalu dihubungkan dengan kabel koaksial berantena luar agar dapat saling berkomunikasi dengan stasiun induk melalui stasiun pengulang.

Antara stasiun pengukur dan stasiun induk tidak dapat langsung berkomunikasi. Jalan untuk berkomunikasi persis seperti untuk subsistem telemetri hidrometeorologi. Ini antara lain karena jalur komunikasinya yang berbukit-bukit dan guna memperkecil interferensi dengan pengguna lain di jalur frekuensi tersebut.

Subsistem ketiga adalah subsistem peringatan dini (*discharge alarming system*) yang bekerja dengan memakai metode tidak bergerak (*radio system*) dan metode bergerak (*mobile system*). Subsistem ini digunakan untuk memberi peringatan awal terutama bagi orang-orang yang sedang berada di bawah bendungan (*down stream*) agar menjauh dari sungai pada saat air dari pintu buangan air bendungan sedang dibuka. Pembukaan ini dibuat semi otomatis guna mengurangi bahaya kemunculan air bah secara tiba-tiba bagi orang-orang di sungai bawah bendungan.

Pengiriman informasi untuk metode tidak bergerak dilakukan dengan atas inisiatif di stasiun induk (*interrogative method*). Petugas di DCC akan mengetes semua stasiun peringatan dini yang ada di pinggir sungai melalui stasiun pengulang di Gunung Cantayan pada waktu-waktu tertentu atau bila akan membuang air bendungan. Setiap stasiun akan menjawab bila kondisinya siap digunakan. Perintah pengetesan ini dapat dilakukan untuk seluruh stasiun, maupun untuk salah satu stasiun. Setelah siap, setiap stasiun peringatan dini diperintahkan untuk mengeluarkan peringatan secara berurutan dari stasiun peringatan dini terdekat

bendungan (stasiun peringatan dini no. 1) sampai ke stasiun peringatan dini yang terjauh.

Suara peringatan dapat dilakukan melalui rekaman yang ada dalam kaset atau suara secara langsung. Peringatan suara baru digunakan bila suara dari kaset tidak dapat dikeluarkan. Keadaan setiap stasiun ini dapat diketahui karena adanya umpan balik dari stasiun peringatan dini ke stasiun induk. Pemberitahuan peringatan dini dilakukan melalui tiga bahasa, yaitu bahasa setempat (Sunda), bahasa Indonesia, dan bahasa Inggris. Bahasa Inggris digunakan karena bisa jadi ada ahli dari luar negeri yang bekerja di PLTA dan sekitarnya.

Setelah peringatan suara selesai dilakukan, setiap stasiun peringatan dini akan mengeluarkan suara sirine. Suara sirine ini akan lebih mudah ditangkap artinya bahwa air besar-besaran akan datang di sungai. Sirine ini baru boleh berhenti setelah proses pembuangan air selesai dilakukan.

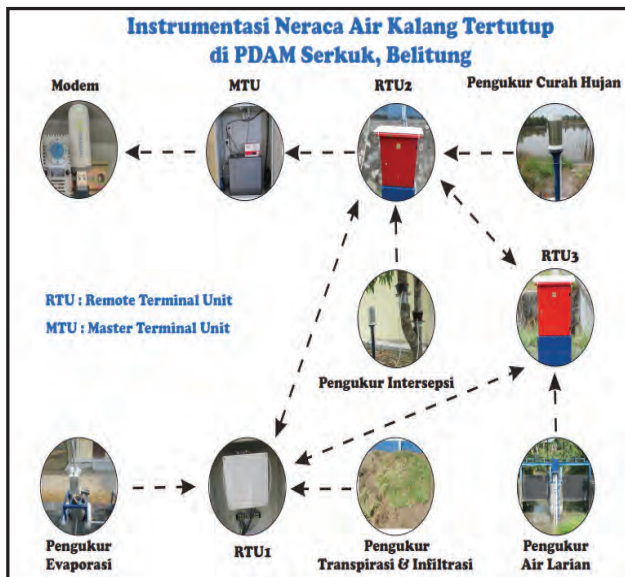
Penguatan penyebaran informasi peringatan dini tersebut dilengkapi dengan sebuah mobil khusus. Mobil ini akan bergerak dari bendungan sampai beberapa km ke arah hilir sambil memberikan informasi tentang akan adanya air bah di sungai. Orang yang biasa di sungai tersebut akan segera tahu peringatan tersebut meskipun hanya mendengar informasi yang tidak lengkap atau dari sekadar mendengar suara sirine mobil peringatan dini yang lewat di pinggir jalan dekat sungai.

Selain di Cirata, juga telah dibangun instrumentasi neraca air di beberapa tempat lainnya, seperti di Bengkulu^{32,45} dan PLTA Bendungan Soedirman di Banjarnegara. Selain itu, dilakukan kegiatan-kegiatan terkait seperti memasang dan menala (*tune*) sistem telemetri *Japan Radio Company* (JRC) di Bili-bili, Sulawesi Selatan; menguji komponen-komponen telemetri Jepang yang dipasang di Malang pada Tahap I (sistem Jepang);

melakukan pengujian perambatan gelombang radio (*radio propagation test*) untuk sistem telemetri di Malang Tahap II (sistem Austria)⁷¹, PLTA Cirata, PLTA Banjarnegara, dan Sulawesi (sistem Taiwan); merancang sistem telemetri untuk Manado dan mendata jaringan telemetri Jiratunseluna (sungai-sungai Jragung, Tuntang, Sepang, Lusi, dan Juana)^{44,72}, Jawa Tengah.

3.1.2 Instrumentasi Neraca Air Kalang Tertutup

Instrumentasi neraca air kalang tertutup (daur air) merupakan instrumentasi neraca air di mana sebagian air di bagian proses dan/atau luaran kembali ke bagian masukan. Instrumentasi neraca air kalang tertutup dibangun di PDAM Serkuk, Belitung, tahun 2012–2014 guna mengetahui neraca air di SubDAS Serkuk yang ada dalam DAS Kubu^{11,17}. Instrumentasi ini terdiri dari sekumpulan instrumen curah hujan, intersepsi, evaporasi, transpirasi, air larian, dan infiltrasi air ke tanah (Gambar 4).



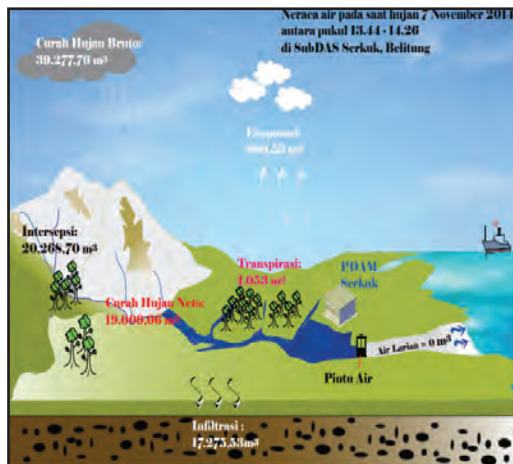
Sumber: Wijonarko & Maftukhah (2016).

Gambar 4. Instrumentasi neraca air kalang tertutup—dalam bentuk yang disederhanakan di PDAM Serkuk, Belitung¹¹.

Awalnya didelineasi batas wilayah Sub-DAS Serkuk⁷³. Delineasi tidak diperlukan bila batas-batas wilayahnya sudah jelas atau tersedia, seperti Pulau Pramuka^{74,75,76}. Kadang luas wilayah harus dikoreksi, misalnya karena sudah direvitalisasi^{77,78}.

Setelah itu dilakukan pengujian karakteristik curah hujan di SubDAS Serkuk. Karena homogen, pemasangan satu pengukur curah hujan sudah memadai untuk mewakili curah hujan di seluruh daerah tersebut (Lampiran 1).

Selanjutnya dilakukan pengembangan instrumentasi intersepsi air (Lampiran 2)³³ dan beberapa jenis instrumen lain untuk melengkapi instrumentasi neraca air tersebut, yaitu instrumen penguapan (Lampiran 3), instrumen pengeringatan (transpirasi) tanaman (Lampiran 4), instrumen infiltrasi (Lampiran 4), instrumen untuk mengukur air larian (Lampiran 5), dan instrumen ketinggian (muka, paras) air dengan berbagai teknik. Pengukuran paras air di PDAM Serkuk dilakukan memakai pelampung, PDAM Bangka Barat memakai pipa tercelup³⁷, dan di *web-based rain gauge calibrator* (WBRGC)^{79,80,81} memakai komponen opto-elektronik⁸². Instrumen salinitas⁸³ tidak dipasang karena sudah ada pintu air untuk mencegah penyusupan air asin dari laut.



Sumber: Wijonarko & Maftukhah (2016).

Gambar 5. Hasil pengukuran instrumentasi neraca air kalang tertutup di SubDAS Serkuk pada 7 November 2014 selama pukul 13.44 sampai 14.26 WIB¹¹.

Gambar 5 merupakan contoh hasil pengukuran instrumentasi neraca air kalang tertutup di SubDAS Serkuk pada saat hujan antara pukul 13:44–14:26 WIB tanggal 7 November 2014. Curah hujan (presipitasi) pada saat itu sebesar 4,75 mm (39.277,76 m³), menyebabkan intersepsi 20.268,70 m³, evaporasi 680,53 m³, transpirasi tanaman 1.053 m³, dan belum ada air larian yang keluar dari subDAS karena hujannya sangat kecil dan bendungan air sungainya ditutup¹¹.

3.2 Pengembangan dari Aspek Instrumentasi

Ada dua cara melihat pengembangan instrumentasi, yaitu berdasarkan aplikasi (*by applications*) dan berdasarkan teknik (*by techniques*)²⁸. Pengembangan melalui aplikasi di sini ditekankan pada penggunaan berbagai teknik dalam instrumentasi neraca air untuk aplikasi di PDAM dan subDAS sekitarnya, sedangkan pendekatan berbasis teknik itu memanfaatkan suatu teknik/metode dalam instrumentasi neraca air digunakan untuk berbagai aplikasi pengukuran.

3.2.1 Pengembangan Instrumentasi Neraca Air untuk Aplikasi di PDAM dan SubDAS Sekitarnya

Salah satu cara mengukur ketahanan air di suatu daerah secara terus-menerus adalah dengan memakai data pengukuran yang ada dalam kantor-kantor penyedia air bersih, khususnya Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) setempat. Cara ini benar-benar efektif apalagi bila seluruh masyarakatnya menggunakan PDAM setempat. Dengan cara ini, gambaran ketahanan air di daerah tersebut dapat diperoleh dari data yang ada di satu atau beberapa PDAM setempat saja.

Tidak semua PDAM mempunyai instrumen yang dapat memberikan gambaran aktual tentang ketahanan air setempat. Selain itu, pengalaman penulis juga menunjukkan bahwa instrumentasi

neraca air jenis searah dan apalagi melingkar masih sulit untuk dapat dipahami dengan benar oleh operator di PDAM. Untuk itu, instrumentasi neraca air yang dapat menggambarkan ketahanan air setempat secara aktual perlu disederhanakan sehingga lebih mudah dipahami oleh pimpinan dan karyawan di PDAM. Cara yang penulis dan tim lakukan adalah dengan mengambil esensi instrumentasi neraca air untuk mendapatkan gambaran tentang K4 (kuantitas, kualitas, kontinuitas, dan keterjangkauan) air. Cara ini telah berhasil diterapkan di PDAM Bangka Barat karena K4 merupakan konsep yang digunakan oleh PDAM sehari-hari (Gambar 6).



Ketinggian air kolong di subDAS dan *reservoir*, pH dan kekeruhan air, serta tekanan pompa di kantor PDAM dipantau oleh panel tersebut guna mengetahui gambaran kuantitas, kualitas, dan keterjangkauan air PDAM tersebut.

Sumber: Harimawan dkk. (2018).

Gambar 6. Panel monitor yang dibuat dan dipasang untuk PDAM Bangka Barat⁵⁹.

Beberapa teknik pengukuran telah dikembangkan untuk keperluan tersebut, di mana salah satunya adalah pengukuran kedalaman air dengan teknik pipa tercelup³⁷. Bagian bawah suatu pipa dimasukkan dalam *reservoir* atau kolong (bekas galian tambang yang terisi air hujan). Ujung pipa bagian atas dihubungkan dengan *pressure transducer*. Ketinggian air tersebut akan berbanding lurus dengan tekanan yang diukur oleh *pressure transducer* tersebut. Konstanta penghubungnya diperoleh melalui proses kalibrasi.

3.2.2 Pengembangan Instrumentasi Neraca Air Berbasis Metode Pengukuran

Dalam subbab ini dideskripsikan contoh tentang bagaimana konsep instrumentasi neraca air dapat digunakan atau dikembangkan untuk membantu mengatasi berbagai permasalahan dalam pengukuran. Contohnya adalah mengukur volume air yang tersangkut (terintersepsi) pada suatu pohon tanpa menebang pohon tersebut. Masalah ini dan sejenisnya dapat diselesaikan dengan menggunakan konsep instrumentasi neraca air karena konsep tersebut memungkinkan kita untuk dapat mengukur secara tidak langsung^{33,54}.

Konsepnya adalah volume air yang tersangkut pada suatu pohon sama dengan volume air (hujan) yang mengenai pohon tersebut (volume air masukan) dikurangi dengan volume air yang melewati pohon tersebut (volume air keluaran). Karena volume air masukan dan volume air keluaran dapat diukur maka dapat diukur juga volume air yang terintersepsi pada pohon tersebut.

Volume air masukan dapat diperoleh dengan mengukur curah hujan bruto dan luas kanopi pohon tersebut. Pengukuran curah hujan bruto dapat dilakukan dengan memakai alat pengukur curah hujan di tempat terbuka dekat pohon tersebut.

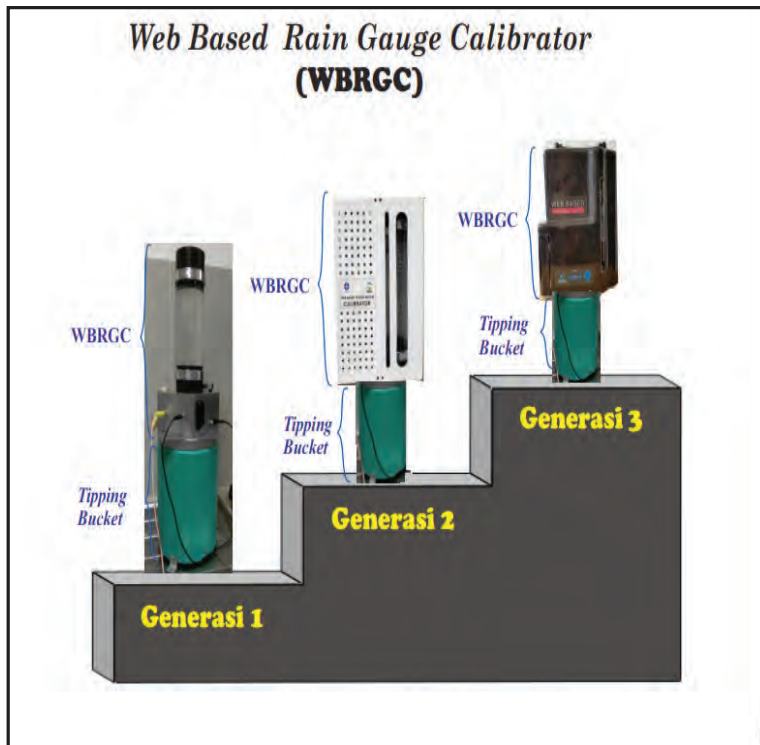
Luas kanopi pohon dapat diukur dengan memakai kamera yang terpasang tetap di atas kanopi pohon^{84,85} atau *drone*. Melalui pengolahan citra, dapat diketahui berapa luas kanopi pohon tersebut. Dengan demikian, volume air masukan dalam kurun waktu tertentu dapat diperoleh dari perkalian antara curah hujan bruto dalam kurun waktu tersebut dengan luas kanopi pohonnya.

Serupa dengan volume air masukan, volume air keluaran dapat diketahui dengan cara mengalikan curah hujan neto dengan luas kanopi pohon. Curah hujan neto diukur dengan pengukur curah hujan yang dipasang di bawah kanopi pohon. Luas kanopi sudah diperoleh pada saat pengukuran volume air masukan.

Konsep instrumentasi neraca air juga telah digunakan untuk membuat kalibrator pengukur curah hujan berbasis *web*. Tahun 2017 telah dibuat cikal kalibrator instrumentasi neraca air, yaitu WBRGC versi (generasi) 1^{79,86} (Gambar 7 dan Lampiran 6) yang mempunyai berbagai keunggulan dibandingkan kalibrator yang memakai metode *Static Calibration*, *Dynamic Calibration*⁸⁷, dan *Automated Dynamic Calibration*⁸⁸. Tahun 2018 telah dibuat WBRGC versi 2^{53,80,81}, (Lampiran 7). Sistem ini telah diuji stabilitasnya⁸⁹ dalam volume 5.000 ml⁹⁰ dan corong khusus guna mengurangi gelembung⁹¹. Penulis merencanakan teknik *Build-up* dan *Build-down*⁹² dapat diterapkan dalam WBRGC. WBRGC versi 2⁹³ telah dikembangkan kecepatannya menjadi WBRGC versi 3 tahun 2019. Sistem ini sedang dialihkan teknologinya ke CV. Tatonas di Yogyakarta (Lampiran 8) guna memicu substitusi impor dan mendorong industri tersebut ikut dalam *Association of Hydro-Meteorological Equipment Industry*⁹⁴ (HMEI) dunia.

Selain konsep, sub-sub konsep instrumentasi neraca air juga telah dikembangkan untuk berbagai keperluan. Salah satu pengembangan tersebut adalah untuk mengukur air maya (air yang digunakan untuk menghasilkan suatu produk)⁹⁵. Sebelum-

nya, air maya biasanya diketahui melalui perhitungan. Untuk membuat 1 liter yoghurt, sebagai contoh, dibutuhkan air sekitar 24 liter bila dilakukan dengan memakai metode perhitungan⁹⁵ dan sekitar 20,2 liter bila memakai metode pengukuran⁹⁶. Contoh lainnya adalah gabungan data curah hujan dan temperatur dapat dimanfaatkan untuk mencari penguapan⁹⁷. Pengukur tinggi air dipakai juga untuk mengukur pasang surut, debit air sungai⁹⁸, penguapan, dan neraca air suatu kolong, serta WBRGC. Kamera juga digunakan untuk mengukur debit air sungai^{99,100,101}.



Sumber: Wijonarko dkk. (2019); Wijonarko, Rustandi dkk. (2020); Wijonarko, Maftukhah dkk. (2020); Prakosa dkk. (2020)

Gambar 7. Tiga generasi (versi) WBRGC (kalibrator pengukur curah hujan berbasis *web*) yang dibuat dengan memakai konsep instrumentasi neraca air^{79,80,81,93}.

IV. STRATEGI, PROGRAM, DAN PENERAPAN INSTRUMENTASI NERACA AIR

Bab ini membahas kontribusi umum instrumentasi neraca air sebagai upaya mewujudkan ketahanan air dalam bentuk strategi, program, dan penerapan instrumentasi neraca air.

4.1 Strategi

Strategi konseptualnya adalah membuat penerapan instrumentasi neraca air ini menjadi bagian dari suatu kebijakan^{15,18,102} bagi pihak terkait. Pihak terkait tersebut terutama Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Kementerian Pertanian (Kementan), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)¹⁰³, pemerintah daerah (pemda), industri, dan swasta.

Strategi konseptual tersebut juga dilengkapi dengan adopsi strategi operasional yang telah terbukti berfungsi dengan baik. Strategi ini berupa empat pilar pendidikan dari UNESCO, yaitu belajar untuk tahu (*learning to know*, Strategi 1), belajar untuk melakukan (*learning to do*, Strategi 2), belajar untuk menjadi diri sendiri (*learning to be*, Strategi 3), dan belajar untuk hidup bersama (*learning to live together*, Strategi 4)¹⁰⁴, serta belajar sepanjang hayat (*lifelong learning*)¹⁰⁵ sebagai strategi kelima.

Kelima strategi operasional tersebut perlu dilaksanakan berurutan. Pertama, pelajari lebih dulu berbagai variabel yang memengaruhi neraca air di daerah kajian (Strategi 1). Setelah itu dilakukan pembuatan instrumentasi neraca airnya (Strategi

2) yang sesuai dengan keadaan setempat (Strategi 3). Pasang instrumentasi neraca air yang dapat dipakai untuk keperluan bersama (Strategi 4). Kembangkan instrumentasi neraca air tersebut terus-menerus sesuai kebutuhan (Strategi 5).

4.2 Program

Agar efektif, strategi di depan perlu dibuat program yang menginduk pada Rencana Kerja Pemerintah (RKP) 2020¹⁰³. Dalam RKP tersebut terdapat lima prioritas nasional (PN) di mana dalam PN 4 berupa Ketahanan Pangan, Air, Energi, dan Lingkungan Hidup. PN 4 ini dibagi lima program prioritas (PP), di mana dalam PP 2 berupa Peningkatan Kuantitas, Kualitas, dan Aksesibilitas Air. PP 2 ini mempunyai enam kegiatan prioritas (KP), di mana salah satunya berupa Pengelolaan Air Terpadu Berbasis Pemanfaatan Teknologi (*Smart Water Management*) atau lengkapnya *Smart Water Management System* (SWMS).

Indonesia sudah memiliki Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2017–2045¹⁰³. Fokus riset prioritas riset nasional (PRN 2020–2024) ada sembilan, di mana salah satunya Bidang Riset Lainnya (Multidisiplin dan Lintas Sektor) yang berupa Bencana, Biodiversitas, *Stunting*, serta Lingkungan-Air-Iklim. Bidang Riset Lainnya ini mempunyai tema riset yang berupa Lingkungan, Sumber Daya Air, dan Perubahan Iklim. Salah satu kelompok makro risetnya adalah Konservasi Pengendalian Pencemaran, dan Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air (RM-SDA). Produk riset nasionalnya adalah Model dan Simulasi, Aplikasi Zonasi Ekosistem, Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Sumber Daya Air (DAS, danau, dan sumber daya air lainnya), serta regulasi dan kebijakan pendukungnya. Produk inovasi nasionalnya adalah model SWMS.

Model atau sistem SWMS terbagi dalam *hydrology and water management* (neraca air, kekeringan air, banjir, air tanah, dan sinkronisasi data), *landslide early warning system*, *water quality monitoring*, *dam safety monitoring*, *river monitoring*, *irrigation system*, *swamp monitoring*, dan *coastal monitoring*. SWMS ini akan dicobaterapkan di Citarum. Instrumentasi neraca air tampaknya dapat diterapkan dalam semua aspek dari model SWMS di atas.

4.3 Penerapan

Langkah pertama adalah mencoba ikut serta dalam program SWMS agar instrumentasi neraca air dapat menjadi kebijakan bagi pihak terkait. Langkah ini sedang dirintis.

Langkah kedua adalah mengujiterapkan pada pihak-pihak terkait, seperti untuk pulau-pulau kecil berpenghuni, PDAM, dan hotel. Hotel memerlukan air bersih berintensitas tinggi sehingga berpotensi menurunkan permukaan tanah, serta menggunakan air hujan dan air abu-abu (*grey water*). Penurunan permukaan tanah ini antara lain dapat dideteksi dengan serat optik⁸². Air hujan tidak layak langsung dikonsumsi karena antara lain pH-nya rendah akibat deposisi asam¹⁰⁶. Metode ozonisasi yang dilengkapi dengan filtrasi¹⁰⁷, misalnya, dapat digunakan untuk mengolah hujan dan air abu-abu tersebut. Alat-alat tambahan tersebut sekaligus akan terhubung dalam instrumentasi neraca air yang digunakan.

Langkah ketiga adalah menghubungkan instrumentasi neraca air dalam WIGOS (Gambar 2) melalui instansi yang berwenang dan/atau sistem lain yang terkait. Cara kolaborasi fisik (fasilitas instrumentasi) dan nonfisik (kerja sama antarmanusia) ini diharapkan dapat membantu mewujudkan ketahanan air Indonesia dan memicu ketahanan air dunia.

V. KESIMPULAN

Telah dikembangkan Instrumentasi Neraca Air berupa sistem yang tujuan akhirnya dapat mengambil keputusan sendiri secara otomatis untuk memantau dan membantu mengelola perubahan aktual neraca air di kawasan yang dikelolanya sehingga ketahanan air setempat akan membaik. Instrumentasi ini perlu dilengkapi instrumen pengendali untuk menambah persediaan air bersih, mengurangi pemakaian air bersih, mengolah air bekas pakai, dan mengatur jenis air sesuai peruntukannya.

Instrumentasi neraca air ini diharapkan dapat dihubungkan dengan sistem pemantau hidrometeorologi terpadu melalui instansi yang nantinya punya jalur menuju WIGOS dan/atau sistem-sistem lain sebagai bagian dari *Decision Making Support System* (DMSS) dalam bidang hidrometeorologi. Dengan interkoneksi seperti ini, instrumentasi neraca air ini dapat membantu meningkatkan jaminan ketahanan air di kawasan yang dikelolanya untuk berbagai aplikasi sejak dari hulu sampai hilir.

VI. PENUTUP

Tantangan utama ketahanan air pada masa mendatang adalah memastikan adanya ketersediaan air bersih bagi setiap kebutuhan. Ini tidak mudah, mengingat ada 10 faktor utama yang memengaruhi dinamika air, baik dari tingkatan lokal maupun global, yaitu 1) pertanian; 2) perubahan dan variabilitas iklim; 3) demografi; 4) ekonomi dan keamanan; 5) etika, masyarakat, dan budaya; 6) pemerintahan dan lembaga; 7) infrastruktur; 8) politik; 9) teknologi; serta 10) sumber daya air, termasuk air tanah dan ekosistem¹⁰⁸. Tantangan bagi Indonesia, terutama pihak-pihak terkait seperti Kementerian PUPR, Kementan, LIPI, BMKG, LAPAN, BIG, BPPT, dan pemda, berupa kepastian pemenuhan air untuk penduduk, pertanian, dan industri. Teknologi khususnya instrumentasi neraca air diperlukan untuk membantu menjaga kepastian tersebut.

Instrumentasi neraca air ini perlu terus dikembangkan dan diterapkan seluas-luasnya, dan kemudian ringkasan datanya dari berbagai tempat diintegrasikan dengan data WIGOS dan/atau jaringan global lainnya guna menjadi bagian dari data besar sistem pengamat hidrometeorologi terpadu tingkat dunia. Data tingkat dunia yang terbuka bagi setiap negara seperti ini diharapkan dapat memperkecil kemungkinan terjadinya konflik atau bahkan perang antarnegara akibat air; dan distribusi air secara proporsional dapat direalisasikan, misalnya melalui kebijakan pengiriman air maya dari negara kaya air ke negara miskin air melalui perdagangan komoditas yang membutuhkan air maya dalam jumlah besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji penulis haturkan ke hadirat Allah Swt. yang selalu melimpahkan begitu banyak karunia, termasuk di antaranya kesempatan bagi penulis untuk dapat menyampaikan Orasi Profesor Riset. Salam dan salawat juga penulis sampaikan kepada baginda Nabi Muhammad saw.

Selanjutnya, penulis menyampaikan ucapan terima kasih ke berbagai pihak yang telah membantu penulis secara langsung dalam menempuh puncak penghargaan dalam jenjang kepene-litian di LIPI. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia yang telah menetapkan penulis sebagai Peneliti Ahli Utama; Kepala BRIN, Plh. Kepala LIPI (merangkap Deputi Ilmu Pengetahuan Teknik) beserta jajarannya, Sekretariat Utama, Kepala Pusat Penelitian Fisika, Kepala Pusbindiklat, Kepala Biro Organisasi dan SDM, dan Kepala Biro Kerja Sama, Hukum, dan Hubungan Masyarakat; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset (Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M.Agr.); Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset (Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani, D.E.A.); Tim Penelaah Naskah Orasi (Prof. Drs. Perdamean Sebayang, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Muh. Rahman Djuwansah, dan Prof. Dr. Ratno Nuryadi); dan panitia penyelenggara acara Pengukuhan Profesor Riset.

Penulis juga menyampaikan terima kasih yang tulus kepada berbagai pihak yang secara tidak langsung telah mengantar penulis ke jenjang Profesor Riset. Mereka di antaranya adalah para guru, khususnya Drs. H.C. Yohanes, Drs. Moh. Natsir, Dr. Przybilsky, Prof. Dr. Nana Sudjana, dan Prof. Dr. Soerjani; manajemen dan karyawan Puslitbang KIM-LIPI (dengan beberapa perubahan nama) khususnya di Bidang Instrumentasi (terutama Drs. A. Harimawan, M.Si.) dan lebih khusus di Laboratorium

Instrumentasi Hidrometeorologi (terutama Drs. Muharyan, M.Sc.); teman-teman kerja Puslit Fisika–LIPI khususnya Keltian Optoelektronik dan Kontrol (Dr. Edi Kurniawan, Dr. Bambang Widiyatmoko, dan seluruh anggota keltian); dan teman-teman satu tim penelitian dalam Sistem Pengamat Hidrometeorologi (Dr. Tatik Maftukhah, M.T., Dr. Purwowibowo, M.T., Dadang Rustandi, S.T., Bernadus Herdi Sirenden, M.Si., Jalu Ahmad Prakosa, M.Eng., Ir. Mahmudi, M.Si., dan Hari Pratomo).

Penulis juga mengemukakan terima kasih yang tidak terkira kepada keluarga penulis yang telah mendampingi penulis dalam keadaan suka dan duka. Mereka itu terutama Bapak Drs. H. Rahmono (Alm.), Ibu Hj. Rustini (Almh.), kakak-kakak, H. Anjo Gunawan, S.E. (Alm.), Prof. Dr. Ir. Otto S.R. Ongkosongo, B.E. APU, Bawuk Pusporini (Almh.), Hj. Suyati Sri Sundari (Almh.), Hj. Sri Indrati (Almh.), dan Winarti Sawitri, semua beserta keluarga mereka masing-masing; serta tentu saja istri penulis, drg. Pujiati Sri Lestari, putri penulis, Erla Mychelisda, S.E., M.Bkg&Fin. beserta keluarganya, yaitu Irwan Haryanto, S.E., Sifr Al-Fatih Mychelisda, dan Idre El-Haqqi Mychelisda; dan juga putra Elka Mychelisda, S.Si. beserta keluarganya, yaitu Dwi Fitri Handayani, Amd. dan Khairy Mutawakkil Mychelisda.

Akhirnya, penulis juga menyampaikan terima kasih dan mohon maaf kepada berbagai pihak yang tidak dapat disebut satu per satu. Mudah-mudahan Allah Swt. berkenan untuk membalas kebaikan Bapak-Bapak, Ibu-Ibu, dan Saudara-Saudara semua dengan sesuatu yang lebih baik. Aamiin.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dewan SDA Nasional. Draft rekomendasi isu strategis ketahanan air. Jakarta: Dewan SDA Nasional; 2019.
2. Hidayat S. Urgensi rekonstruksi model pengelolaan sumber daya air berkelanjutan. Dalam: Hidayat S, Soekarni M, editor. Cowarmoka; 2019: 1-20.
3. WWDR 2019 Team. The United Nations world water development report 2019, leaving no one behind. UNESCO. Paris: UNESCO; 2019. 186.
4. Sweyaa LN, Suzanne Wilkinson S, Chang-Richard A. Understanding water systems resilience problems in Tanzania. *Procedia Eng.* 2018; 212: 488–495.
5. WWDR 2017 Team. The United Nations world water development report 2017, wastewater the untapped resource. UNESCO. Paris: UNESCO; 2017: 180.
6. Sekretariat Dewan SDA Nasional. Citarum harum dalam mendukung ketahanan air. Jakarta: Dewan SDA Nasional; 2018.
7. Anon. Irrigation policy outlook: Towards sustainable irrigated agriculture development and management. 2019.
8. Bertsch M. Exploring alternative futures of the world water system, building a second generation of world water scenarios, driving force: Water resources and ecosystems. Paris: UN WWAP; 2010. 39.
9. Radhika N, Fauzi M, Rahmawati, Hatmolo W, Firmansyah R, Fathoni A. Neraca ketersediaan air permukaan dan kebutuhan air pada wilayah sungai di Indonesia. Dalam: Kolokium Hasil Litbang Sumber Daya Air; 2013: 14.
10. Ongkosongo OSR. **Wijonarko S.** Laporan perencanaan lingkungan hidup jangka menengah (2005–2010) dan jangka panjang (2010–2020). Serang: BPPD Kabupaten Serang; 2004: 3.1–3.2.

11. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Instrumentation system for water balance measurements on Serkuk Subbasin, Kubu Watershed, Belitung. Dalam: AIP Conference Proceedings. 2016. 020005-1-020005-7.
12. Collier C. Hydrometeorology. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd; 2016.
13. Kumar CP. Water balance analysis. National Institute of Hydrology. Uttarakhand; 2012.
14. **Wijonarko S**. Meteorologi Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. Jakarta: P2 Oseanografi-LIPI; 2011: 44-57.
15. **Wijonarko S**. Neraca air untuk orang pulau kecil: suatu konsep & instrumen untuk pengelolaan air. J Tek Lingkung Buku 2. 2006; E. Khusus (Buku 2): 299-306.
16. Commission E. Guidance document on the application of water balances for supporting the implementation of the WFD. 6.1. Luxembourg; 2015.
17. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Santosa HH, Afandi MI, Ngatenan, Sediono W. Sistem dan metoda untuk mengukur neraca air di daerah penangkapan air. Paten Indonesia No. P00201304802. 2013.
18. **Wijonarko S**. Penggunaan instrumen air dalam pengelolaan air: suatu usulan kebijakan. Dalam: Kipnas. Jakarta: LIPI; 2013. 749-760.
19. WMO. Vision for WMO integrated global observing system in 2040. 2019.
20. Liptak BG, Venczel K. Instrument Engineers' Handbook: Process Measurement. California: Chilton Book Company; 1982.
21. Horrison. Meteorological measurements and instrumentation. 1st ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd; 2015.
22. Jones EB. Instrument technology: Telemetering and automatic control. London: Butterworth-Heinemann; 2013.

23. Botai C., Botai J., Muchuru S, Ngwana I. Hydrometeorological research in South Africa: A review. *Water*. 2015; 7: 1580–94.
24. Rakhecha PR, Singh VP. *Applied hydrometeorology*. New Delhi: Springer; 2009.
25. Sene K. *Hydrometeorology: forecasting and applications*. 2nd ed. Heidelberg: Springer; 2015.
26. WMO. WIGOS the WMO integrated global observing system our planet's future hub for weather, Climate and Water Observations. 2020.
27. Guaraglia DO, Pousa JL. *Introduction to modern instrumentation for hydraulics and environmental sciences*. 2014.
28. Boyes W, editor. *Instrumentation reference book*. Butterworth-Heinemann; 2009.
29. Uijlenhoet R, Torres DS. Measurement and parameterization of rainfall microstructure. *J Hydrol*. 2006; 328 (1-2): 1–7.
30. **Wijonarko S**, Warman A, AK S. Dissipation of electrical energy into heat energy in web-based rainfall meter microcontrollers. *Journal of Technomaterials Physics*. 2021; 3 (1): 57–64.
31. **Wijonarko S**. Penerapan prinsip simbiose mutualistis antara alat penakar hujan dan data curah hujan. *J Tek Lingkungan Buku 1*. 2006: 385–390.
32. **Wijonarko S**, Sediono, W., Ngatengan, Rojak, A. & Antoko H. Penggunaan metode penelitian dan pengembangan dalam rangka peningkatan kualitas jaringan sistem pengukur curah hujan di Bengkulu. *J Tek Lingkungan Buku 1*. 2008; 139–145.
33. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Santosa HH, Afandi MI, Ngatengan, Sediono W. Sistem dan metoda untuk mengukur intersepsi air hujan pada kanopi tanaman keras. *Paten Indonesia No. P00201304804*. 2013.
34. **Wijonarko S**, Wahono DR, Maftukhah T. Pengaruh perbedaan suhu ambien pada pengukuran penguapan air. Dalam: *Seminar*

- Nasional Fisika. Tangerang Selatan: P2 Fisika-LIPI; 2012: 290–298.
35. **Wijonarko S**, Wahono DR, Maftukhah T. Pengaruh posisi vertikal tabung pengukuran terhadap hasil pengukuran penguapan air. Dalam: Seminar Nasional Fisika. Tangerang Selatan: P2 Fisika-LIPI; 2012: 229–306.
 36. **Wijonarko S**. Perancangan sensor penguapan dengan menggunakan perbedaan berat. Dalam: Prosiding Siptekgan XII-2008. Tangerang: LAPAN; 2008: 283–288.
 37. Rustadi D, Harimawan A, **Wijonarko S**, Pendi D, Purwanto E. Metode dan alat untuk mengukur tinggi muka air. Paten Indonesia No. P00201508285. 2015.
 38. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Karakteristik curah hujan dalam kaitannya dengan sensor infiltrasi. Dalam: PPI-KIM ke-38. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2012: 49–58.
 39. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Pengaruh serasah terhadap hasil pengukuran resapan air: Studi di kawasan PDAM Serkuk DAS Kubu. Dalam: PPI-KIM ke-39. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2013: 1–14.
 40. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Perbandingan hasil pengukuran resapan air dengan cincin tunggal dan cincin ganda. Dalam: Seminar Nasional Fisika. Tangerang Selatan: P2 Fisika - LIPI; 2013. 605–614.
 41. **Wijonarko S**. Peranan alat penakar hujan dalam perhitungan air larian: Studi kasus di Pulau Panggang. J Tek Lingkungan Buku 1. 2006: 233–240.
 42. **Wijonarko S**. Variasi limpasan permukaan berbasis data bulanan di subdas PDAM Serkuk. Dalam: PPI-KIM ke-40. Tangerang Selatan: P2 Metrologi-LIPI; 2014: 91–102.
 43. **Wijonarko S**. Upaya mengatasi pengaruh aliran lateral di saluran air terhadap unjuk kerja sensosr duga muka air jenis pelampung. Dalam: PPI-KIM ke-34. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2008: 327–338.

44. **Wijonarko S**, Mochjidin K. Masalah dampak dan usulan untuk mengatasi masalah sensor duga muka air di wilayah Sungai Jra-tunseluna. *J Ilm GIGA*. 2001; 4 (11): 8–11.
45. **Wijonarko S**, Wahono DR, Sediono W, Ngatenan, Hermana A, Hopmans A. Alat duga muka air semi otomatis. Dalam: PPI KIM ke-34. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2008: 339–351.
46. **Wijonarko S**. Alat perekam luminasi matahari. *J GIGA J Ilm Bid Rekayasa Sains UNAS*. 2009: 41–46.
47. Rofianingrum MY, **Wijonarko S**, Maftukhah T, Purwowibowo. Determination of PUSPIPTEK's health security level based on UV index measurement. Dalam: AIP Conference Proceedings. 2020.
48. **Wijonarko S**. Pemanfaatan instrumen pengukur kecepatan angin di Bangka-Belitung. Dalam: Prosiding Siptekgan XVI-2012. Bogor: Pusat Teknologi Penerbangan-LAPAN 2012: 633–639.
49. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Santosa HH, Rustandi D, Ngatenan, Sediono W. Sistem dan metode untuk mengukur curah hujan berdasarkan arah mata angin dan kemiringannya. Paten Indonesia No. P00201508281. 2015. 21.
50. Maftukhah T, **Wijonarko S**, Rustandi D. Comparison and correlation among measurement results of observatory, hellman, and tipping bucket sensors. *J Instrumentasi*. 2016; 40 (1): 7–14.
51. **Wijonarko S**. The main purpose for the application of double layer tipping bucket sensors. *J Instrumentasi*. 2017; 41 (2): 81–89.
52. Prakosa JA, **Wijonarko S**, Rustandi D. The performance measurement test on rain gauge of tipping bucket due to controlling of the water flow rate. Dalam: Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018: 1136–1140.
53. Maftukhah T, **Wijonarko S**, Sirinden BH, Purwowibowo, Afandi MI, Mulyanto I, dkk. Alat kalibrator sensor tipping bucket berbasis web dengan variasi volume air tabung dan metode penggunaannya. Paten Indonesia No. P00201904061. 2019.

54. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Instrumentation development for rainfall interception measurement on a tree using water balance. *J Instrumentasi*. 2014;38(2):1–9.
55. **Wijonarko S**. Pemanfaatan sistem telemetri dalam pengukuran besaran-besaran kelautan dengan penekanan pada pasang-surut. Dalam: *Pasang-Surut*. Jakarta: P3O-LIPI; 1989: 231–240.
56. **Wijonarko S**. Dampak pembangunan sistem telemetri terhadap lingkungan dengan penekanan pada wilayah pesisir. Dalam: *Warta ISOI*. P3O-LIPI; 1998: 9–13.
57. **Wijonarko S**. Beberapa kendala dalam penerapan sistem telemetri untuk mendeteksi kerusakan lingkungan pantai. Dalam: *Warta ISOI*. Jakarta; 1998: 2–5.
58. Kurniawan E, Hendra G. Harno HG, **Wijonarko S**, Widiyatmoko B, Bayuwati D, Purwowibowo, dkk. Variable–structure repetitive control for discrete–time linear systems with multiple-period exogenous signals. *Int J Appl Math Comput Sci*. 2020; 30 (2): 207–218.
59. Harimawan A, **Wijonarko S**, Arumsari A, Muryanto, Rustandi D, Pendi D, dkk. Sistem pemantau pengolahan dan distribusi air minum untuk PDAM Bangka Barat. Tangerang Selatan: P2 Metrologi-LIPI 2018.
60. Purwowibowo, **Wijonarko S**, Maftukhah T. GPS logger development using an atmega 2560 microcontroller. *J Instrumentasi* 2009; 43 (2): 103–113.
61. Cichoń T, Królikowska J.. Water supply measurements in multi-family buldings and discrepancies in a water balance. *Ecol Eng*. 2016; 48: 28–34.
62. Lv M. Ma Z, Yuan X, Lv M, Li M, Zheng Z. Water budget closure based on GRACE measurements and reconstructed evapotranspiration using GLDAS and water use data for two large densely-populated mid-latitude basins. *J Hydrol*. 2017; 547: 585–599.
63. García-López S, Ruiz-Ortiz V, Barbero L, Bellón AS. Contribution of the UAS to the determination of the water budget in a

- coastal wetland: a case study in the natural park of the Bay of Cádiz (SW Spain). *Eur J Remote Sens.* 2018; 51 (1): 965–977.
64. Seo H, Kim Y. Interactive impacts of fire and vegetation dynamics on global carbon and water budget using Community Land Model version 4.5. *Geosci Model Dev.* 2019; 12: 457–472.
 65. Sriwongsitanona N, Suwawonga T, Thianpopiruga S, Williams J, Jiad L, Bastiaanssen W. Validation of seven global remotely sensed ET products across Thailand using water balance measurements and land use classifications. *J Hydrol Reg Stud.* 2020; 30: 1–14.
 66. Grinevskiy SO, Pozdniakov SP, Dedulina EA. Regional-scale model analysis of climate changes impact on the water budget of the critical zone and groundwater recharge in the European Part of Russia. *Water.* 2021; 13: 1–19.
 67. WMO. Guide to the WMO integrated global observing system. WMO No. 1165. Geneva: WMO 2018; 102.
 68. **Wijonarko S.** Pemanfaatan sistem komunikasi suara untuk mendukung pembuatan sistem telemetri non-poling yang dapat diperintahkan. Dalam: PPI KIM ke-19. Tangerang: Puslitbang KIM-LIPI 1993: 259–268.
 69. **Wijonarko S.** Langkah awal untuk menyusun sistem penyebaran informasi peringatan dini tsunami khas Indonesia yang terstandaridisasi. Dalam: PPI-KIM ke-35. Tangerang: Puslit KIM-LIPI 2009: 408–418.
 70. **Wijonarko S.** Model sistem peringatan dini untuk mendeteksi tsunami Jawa Timur. *J Ilm Untag Jakarta.* 1998; 4 (1): 11–19.
 71. **Wijonarko S.** Kuat medan ban 70 MHz, 150 MHz, dan 450 MHz. Dalam: Prosiding ECCIS Unbra 2000.
 72. **Wijonarko S.** Important aspects in designing a new telemetering system for the Jratonseluna river basin development. *J Ilm GIGA.* 2001; 4 (11): 44–50.

73. **Wijonarko S**, Maftukhah S, Santosa HH. Delineasi dan pengukuran luas subdas PDAM Serkuk. Dalam: Seminar Nasional Fisika. Tangerang Selatan: P2 Fisika-LIPI 2013: 596–604.
74. **Wijonarko S**, Ongkosongo OSR. Hidrologi Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. Jakarta: P2 Oseanografi-LIPI 2011: 58–72.
75. Afadlal, **Wijonarko S**, Meifina, Septi A, Ongkosongo DE, Ongkosongo OSR. Kondisi lingkungan sosial, ekonomi, dan budaya di Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. Jakarta: P2 Oseanografi-LIPI 2011: 140–162.
76. **Wijonarko S**, Ongkosomgo OSR, Wothuysen S. Perairan laut di sekeliling Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. Jakarta: P2 Oseanografi-LIPI 2011: 73–82.
77. **Wijonarko S**. Pemanfaatan hasil pengukuran untuk memprediksi risiko degradasi kualitas air tanah di daerah reklamasi Pulau Pramuka. Dalam: PPI KIM ke- 35. Tangerang: Puslit KIM-LIPI 2009: 234– 243.
78. Afadlal, **Wijonarko S**, Meifina, Septi A, Ongkosongo DE, Ongkosongo OSR. Tanggapan penduduk terhadap rencana revitalisasi Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. Jakarta: P2 Oseanografi-LIPI 2011: 163–172.
79. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D, Sirinden B, Damayanti NTE. Web based rain gauge calibrator. *J Instrumentasi*. 2019; 43 (1) 25–42.
80. **Wijonarko S**, Rustandi D, Maftukhah T, Mahmudi, Sirinden BH, Prakosa JA, dkk. The bias of web based rain gauge calibrator due to bubbles. *J Instrumentasi*. 2020; 44 (1): 1–12.
81. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D, Sirenden BH, Mahmudi, Prakosa JA, dkk. The second generation of web based rain gauge calibrator. *J Instrumentasi*. 2020; 44(2): 113–121.
82. Rofianingrum MY, Widyatmoko B, Bayuwati D, Kurniawan E, Mulyanto I, **Wijonarko S**, dkk. Sensor berat berbasis serat optik

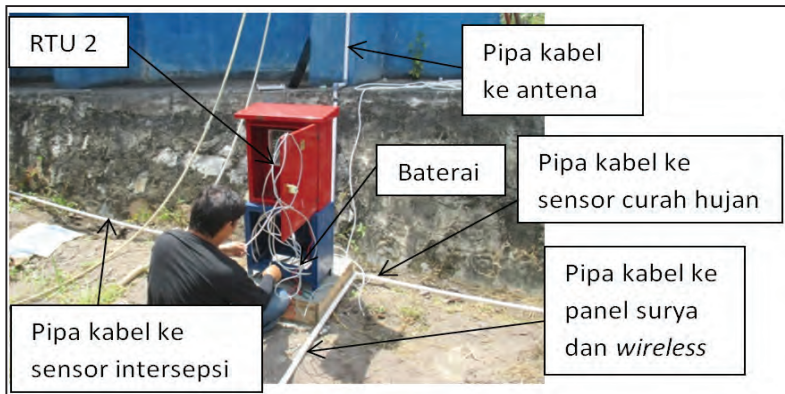
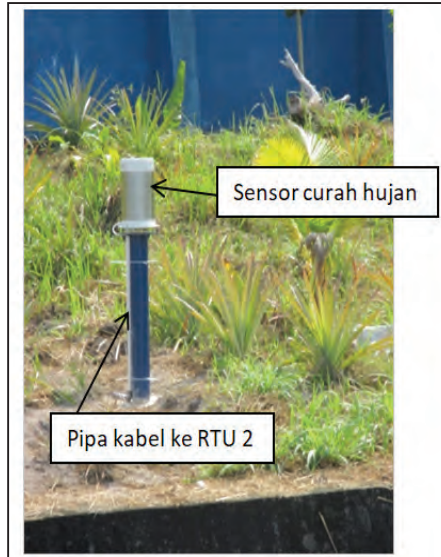
dengan deformer campuran pasir dan karet silikon. Paten Indonesia No. P00201904060. Indonesia; 2019. p. 9.

83. Prakosa JA, Sirenden BH, Rustandi D, Kartiwa B, **Wijonarko S**, Maftukhah TP. Perbandingan pengukuran salinitas air antara metode daya hantar listrik dan massa jenis untuk aplikasinya pada bidang pertanian. *J Instrumentasi*. 2020; 44 (2): 199–211.
84. Maftukhah T, **Wijonarko S**. Aplikasi pengukuran luas obyek menggunakan kamera. Dalam: PPI-KIM ke-41. Tangerang Selatan: Puslit Metrologi-LIPI 2015: 143–52.
85. Maftukhah T, **Wijonarko S**. Perhitungan luas kanopi pohon berdasarkan warna citra. *J Instrumentasi*. 2015; 39 (1): 9–13.
86. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D, Sirenden BH, Prakosa JA, Sediono W, dkk. Sistem otomatis untuk mengkalibrasi pengukur curah hujan tipe cawan berjungkit (tipping bucket). Paten Indonesia No. P00201707655. 2017.
87. Calder IR, Kidd CHR. A note on the dynamic calibration of tipping-bucket gauges. *J Hydrol*. 1978; 39: 383–387.
88. Humphrey MD, Istok JD. A new method for automated dynamic calibration of tipping-bucket rain gauges. *J Atmos Ocean Technol* 1997; 14: 1513–1519.
89. Qiyaman D, **Wijonarko S**. Pengujian stabilitas kalibrator penakar curah hujan menggunakan sensor cawan berjungkit. Dalam: PPI KIM ke-44 2018: 176–187.
90. Rustandi D, Maftukhah T, Prakosa JA, **Wijonarko S**, Sirenden BH. Penentuan daerah ukur terbaik 5.000 ml sebagai standar volume dalam sistem pengujian sensor curah hujan. Dalam: PPI KIM ke-43 2017: 60–69.
91. Prakosa JA, **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D, Sirenden BH. Pengaruh corong tambahan terhadap hasil pengujian volume cawan berjungkit 17,7 ml pada sistem pengukur mawar hujan. Dalam: PPI KIM ke-43 2017: 115–125.
92. Sardjono H, **Wijonarko S**. Calibration process quantity reduction of the thermal voltage converter standard using a three stage

- build-up and build-down method. *Int J Technol.* 2018; 9 (1); 181–91.
93. Maftukhah T, **Wijonarko S.** A data processing program for web based rain gauge calibrators. *J Instrumentasi.* 2019; 43 (1): 53–64.
 94. Steve B. *The Association of hydro-meteorological equipment industry's member products catalogue.* Geneva; 2008.
 95. **Wijonarko S,** Sirenden BH, Maftukhah T, Rustandi D, Darmayanti NTE, Qiyaman D. Embedded water for home industry yogurt: A study for saving potential of water to face climate change. Dalam: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2019. 012022-1-012022–6.
 96. **Wijonarko S,** Sirinden BH, Maftukhah T, Rustandi D. between measurement and calculation methods in obtaining virtual water for home made yogurt. *J Instrumentasi* 2019; 43 (2): 77–89.
 97. **Wijonarko S.** Korelasi antara suhu udara dan curah hujan. Dalam: *PPI-KIM ke-33.* Tangerang: Puslit KIM-LIPI 2007: 322–328.
 98. **Wijonarko S,** Afandi MI, Maftukhah T. Studi awal debit sungai Kubu di PDAM Serkuk Belitung untuk pemenuhan kebutuhan air bersih masyarakat. Dalam: *PPI-KIM ke-39.* Tangerang Selatan: Puslit Metrologi-LIPI 2013: 350–360.
 99. **Wijonarko S.** Pemanfaatan video kamera berbasis nirkabel sebagai instrumen pendidikan. Dalam: *Seminar Nasional Fisika.* Tangerang Selatan: P2 Fisika-LIPI 2011: 832–840.
 100. Sirenden BH, Mursanto P, **Wijonarko S.** Dynamic texture analysis using auto-correlation function of histogram similarity measure from galois-field texture representation of water flow video. Dalam: *2020 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET).* 2020. 51–56.
 101. Sirenden BH, Arymurthy AM, Mursanto P, **Wijonarko S.** Algorithm comparisons among space time volume Velocimetry, Horn-Schunk, and Lucas-Kanade for the analysis of water surface velocity image sequences. Dalam: *2019 International Conference*

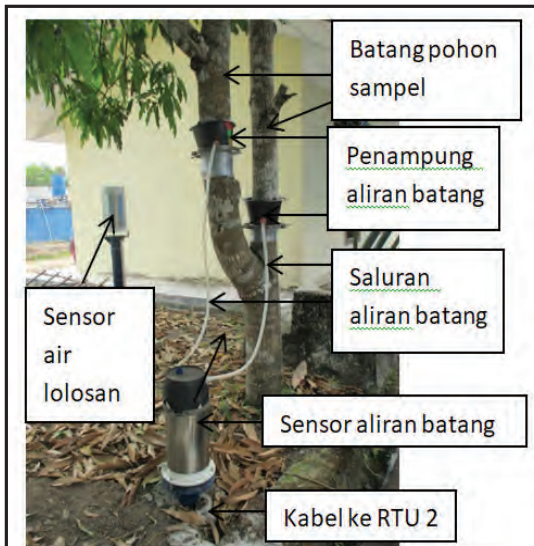
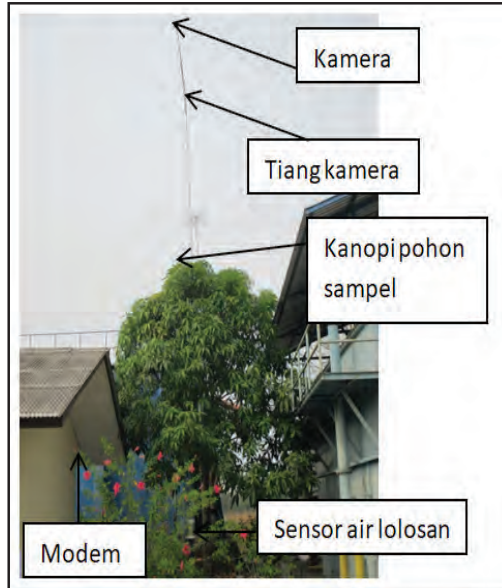
- on Computer, Control, Informatics and its Applications: Emerging Trends in Big Data and Artificial Intelligence, IC3INA 2019. 2019.
102. **Wijonarko S.** Neraca air: Konsep yang perlu dimasukkan dalam alat pemantau kuantitas air. *J Tek Lingkung Buku 2* 2006: 299–306.
 103. PUPR. SWMS smart water management system. 2019.
 104. Hoerniasih N. Lifelong learning dalam pemberdayaan masyarakat untuk kemandirian berwirausaha. *Indones J Adult Community Aducation*. 2019; 1 (1): 31–39.
 105. Laal M, Salamati P. Lifelong learning; why do we need it? *Procedia - Soc Behav Sci*. 2012; 31: 399–403.
 106. **Wijonarko S.** Penggalakan sistem pemantau deposisi asam. Dalam: *Kipnas*. Jakarta: LIPI; 2013. 739–748.
 107. Luvita V, Sugiarta AT, **Wijonarko S.** Pengolahan grey water menjadi air bersih dengan metode ozonasi dan filtrasi. Dalam: *PPI-KIM ke-40*. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2014: 235–242.
 108. Cosgrove CE, Cosgrove WJ. The dynamics of global water futures driving forces 2011–2050. Paris: UN WWAP; 2012. 94.

LAMPIRAN



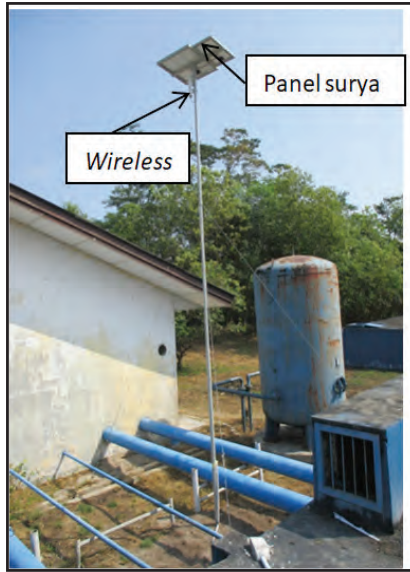
Sumber: Wijonarko & Maftukhah (2016)

Lampiran 1. Instrumen Pengukur Curah Hujan Beserta Penyimpan Data¹¹



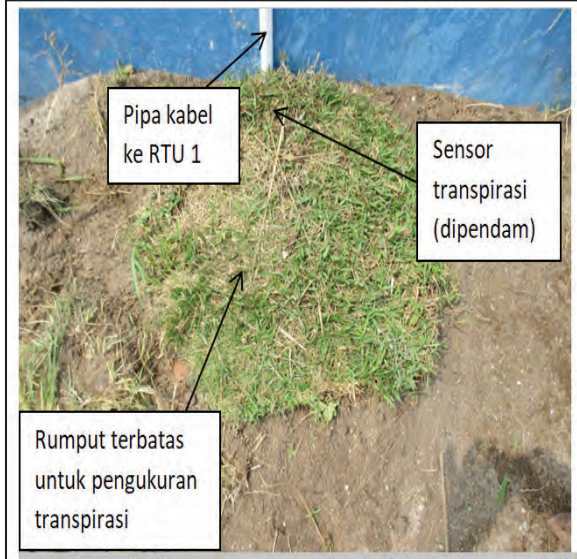
Sumber: Wijonarko & Maftukhah (2014)

Lampiran 2. Instrumentasi Intersepsi Hujan⁵⁴



Sumber: Wijonarko & Maftukhah (2016)

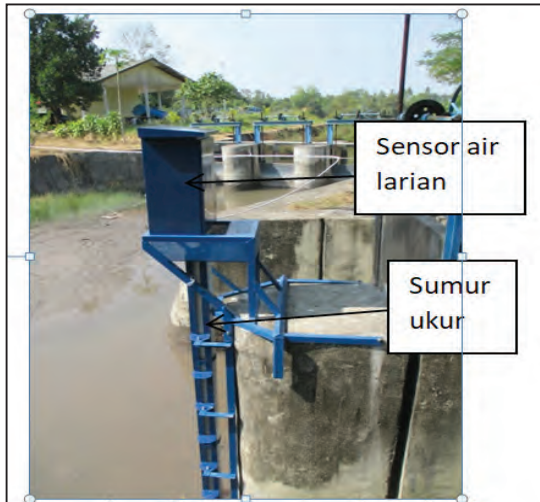
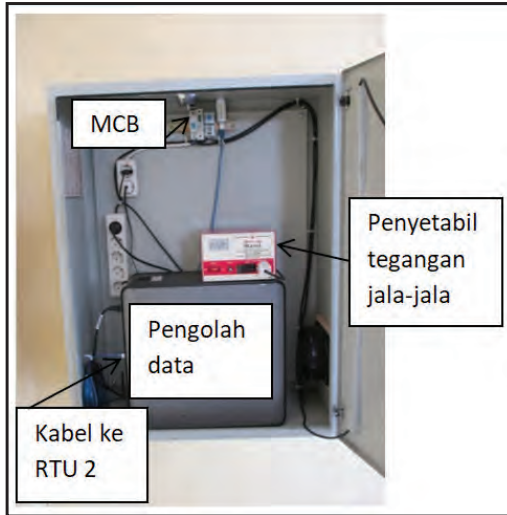
Lampiran 3. Instrumen Evaporasi Beserta Panel Surya dan Media Komunikasi Data Lokal¹¹



Sumber: Wijonarko & Maftukhah (2016)

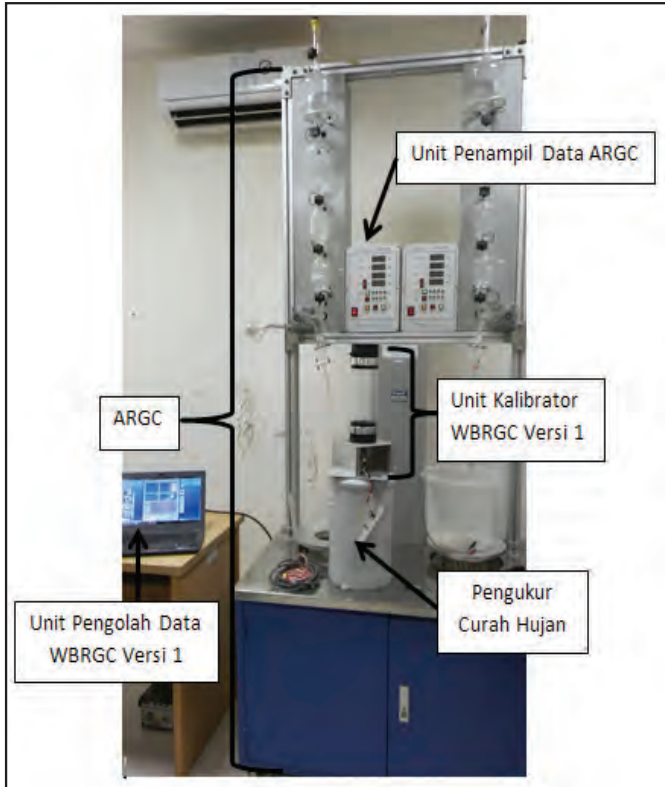
Lampiran 4. Instrumen Transpirasi dan Instrumen Infiltrasi yang Sedang Dipasang di Dalam Tanah¹¹

Buku ini tidak diperjualbelikan.



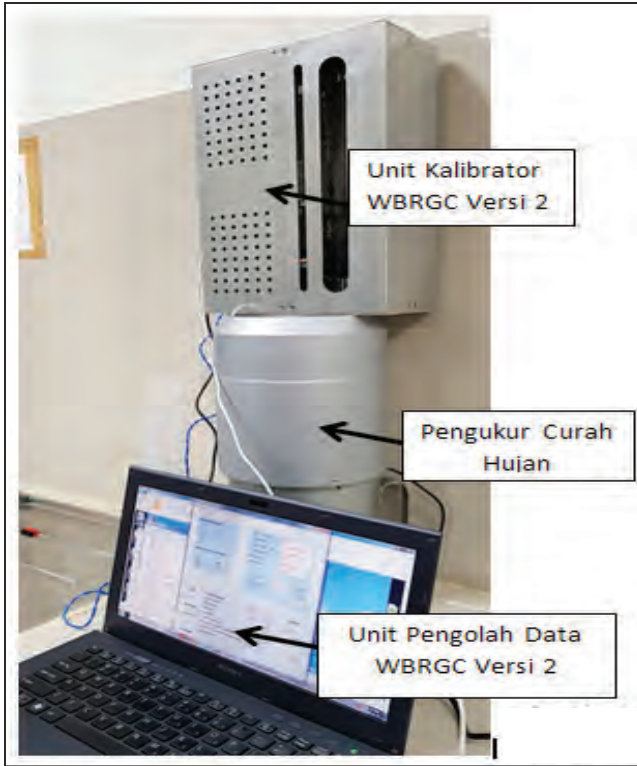
Sumber: Wijonarko & Maftukhah (2016)

Lampiran 5. Instrumen Air Larian Beserta Pengolah dan Pengiriman Data Global¹¹



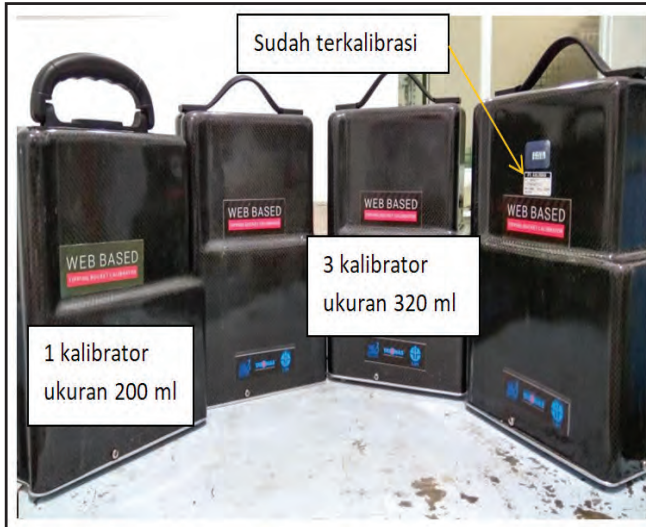
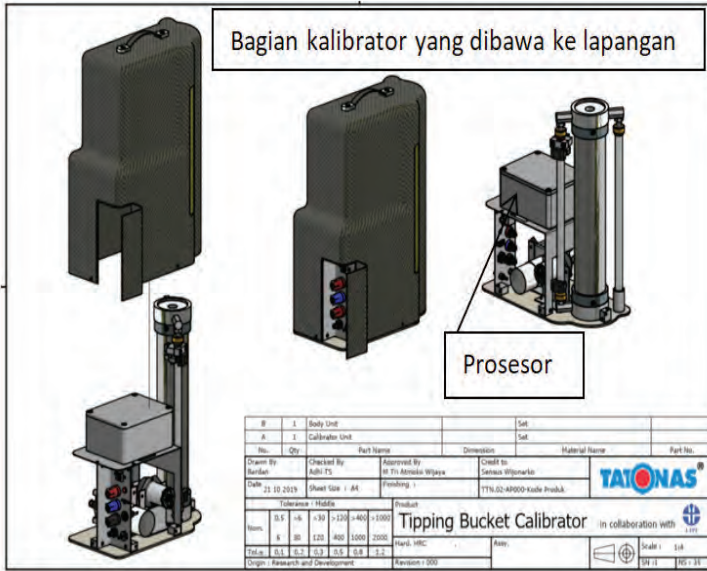
Sumber: Wijonarko dkk. (2019)

Lampiran 6. WBRGC Versi 1 yang dikembangkan penulis dan tim, dan kalibrator pengukur curah hujan otomatis (ARGC) buatan luar negeri⁷⁹



Sumber: Wijonarko dkk. (2019)

Lampiran 7. WBRGC Versi 2 pada saat sedang dipakai untuk mengkalibrasi pengukur curah hujan⁷⁹



Sumber: Wijonarko dkk. (2019)

Lampiran 8. WBRGC Versi 3 untuk mengkalibrasi sebagian sensor instrumentasi neraca air⁷⁹

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku Nasional

1. Harimawan A, **Wijonarko S**, Arumsari A, Muryanto, Rustandi D, Pendi D, Purwanto, E. Sistem pemantau pengolahan dan distribusi air minum untuk PDAM Bangka Barat. Tangerang Selatan: P2 Metrologi-LIPI; 2018.
2. Ongkosongo OSR, Hardiyanti S, **Wijonarko S**, Natsir SM, Siwi, SE, Nurhayati. Perubahan Lingkungan di Pesisir Kota Jakarta Utara. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI; 2009.
3. Ongkosongo OSR, **Wijonarko S**. Laporan perencanaan lingkungan hidup jangka menengah (2005–2010) dan jangka panjang (2010–2020). Serang: BPPD Kabupaten Serang; 2004.
4. Ongkosongo OSR, **Wijonarko S**. Lingkungan hidup Kabupaten Serang. LIPI; 2004.

Bagian dari Buku Nasional

5. **Wijonarko S**. Meteorologi Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. 2011. 44–57.
6. **Wijonarko S**, Ongkosongo OSR. Hidrologi Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. 2011. 58–72.
7. **Wijonarko S**, Ongkosongo OSR, Wothuysen S. Perairan laut di sekeliling Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. Tangerang Selatan: IOP Publishing; 2011. 73–82.
8. Afadlal, **Wijonarko S**, Meifina, Septi A, Ongkosongo DE, Ongkosongo OSR. Kondisi lingkungan sosial, ekonomi, dan budaya di Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. 2011. 140–162.
9. Afadlal, **Wijonarko S**, Meifina, Septi A, Ongkosongo DE, Ongkosongo OSR. Tanggapan penduduk terhadap rencana revitalisasi Pulau Pramuka. Dalam: Rona Lingkungan Pulau Pramuka. 2011. 163–172.

10. **Wijonarko S.** Pemanfaatan sistem telemetri dalam pengukuran besaran-besaran kelautan dengan penekanan pada pasang-surut. Dalam: *Pasang-Surut*. Jakarta: P3O-LIPI; 1989. 231–240.

Jurnal Internasional

11. Kurniawan E, Harno HG, **Wijonarko S**, Widiyatmoko B, Bayuwati D, Purwowibowo, Maftukhah T. Variable-structure repetitive control for discrete-time linear systems with multipleperiod exogenous signals. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*. 2020; 30 (2): 207–218.
12. Sardjono H, **Wijonarko S**. Calibration process quantity reduction of the thermal voltage converter standard using a three-stage build-up and build-down method. *Int. J. Technol.* 2018; 9 (1): 181–191.

Jurnal Nasional

13. **Wijonarko S**, Warman A., and Sitorus, A.K. Dissipation of electrical energy into heat energy in web-based rainfall meter micro-controllers. *Journal of Techno-materials Physics*. 2021; 3 (1): 57–64.
14. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D, Sirenden BH, Mahmudi, Prakosa JA, dkk. The second generation of webbased rain gauge calibrator. *J Instrumentasi*. 2020; 44 (2): 113–121.
15. Prakosa JA, Sirenden BH, Rustandi D, Kartiwa B, **Wijonarko S**, Maftukhah TP. Perbandingan pengukuran salinitas air antara metode daya hantar listrik dan massa jenis untuk aplikasinya pada bidang pertanian. *J Instrumentasi*. 2020; 44 (2): 199–211.
16. **Wijonarko S**, Rustandi D, Maftukhah T, Mahmudi, Sirenden BH, Prakosa JA, Purwowibowo. The bias of webbased rain gauge calibrator due to bubbles. *J Instrumentasi*. 2020; 44 (1): 1–12.
17. **Wijonarko S**, Sirenden BH, Maftukhah T, Rustandi D. Comparisons between measurement and calculation methods in obtaining virtual water for home made yogurt. *J Instrumentasi*. 2019; 43 (2): 77–89.

18. Purwowibowo, **Wijonarko S**, Maftukhah T. GPS logger development using an atmega 2560 microcontroller. *J Instrumentasi*. 2019; 43 (2): 103–113.
19. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D, Sirenden BH, Damayanti, NTE. Web based rain gauge calibrator. *J Instrumentasi*. 2019; 43 (1): 25–42.
20. Maftukhah T, **Wijonarko S**. A data processing program for web-based rain gauge calibrators. *J Instrumentasi*. 2019; 43 (1): 53–64.
21. **Wijonarko S**. An exemplary embodiment for a method to obtain rainfall information using 48 sensors of a rainrose instrument. *J Instrumentasi*. 2018; 42 (1): 49–60.
22. **Wijonarko S**. The main purpose for the application of double layer tipping bucket sensors. *J Instrumentasi*. 2017; 41 (2): 81–89.
23. Maftukhah T, **Wijonarko S**, Rustandi D. Comparison and correlation among measurement results of observatory, hellman, and tipping bucket sensors. *J Instrumentasi*. 2016; 40 (1): 7–14.
24. Maftukhah T, **Wijonarko S**. Perhitungan luas kanopi pohon berdasarkan warna citra. *J Instrumentasi*. 2015; 39 (1): 9–13.
25. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Instrumentation development for rainfall interception measurement on a tree using water balance. *J Instrumentasi*. 2014; 38 (2): 1–9.
26. **Wijonarko S**. Neraca air untuk orang pulau kecil: suatu konsep & instrumen untuk pengelolaan air. *J Lingkung Trop*. 2009; 3 (1): 1–10.
27. **Wijonarko S**. Alat perekam luminasi matahari. *J GIGA J Ilm Bid Rekayasa Sains UNAS*. 2009: 41–46.
28. **Wijonarko S**, Sediono, W, Ngatenan, Rojak A, Antoko H. Penggunaan metode penelitian dan pengembangan dalam rangka peningkatan kualitas jaringan sistem pengukur curah hujan di Bengkulu. *Jurnal Teknik Lingkungan, Buku 1* (Eds. Priana Sudjono dkk.). 2008: 139–145.

29. **Wijonarko S.** Peranan alat penakar hujan dalam perhitungan air larian: studi kasus di Pulau Panggang. *J Tek Lingkung Buku 1*. 2006: 233–240.
30. **Wijonarko S.** Penerapan prinsip simbiose mutualistis antara alat penakar hujan dan data curah hujan. *J Tek Lingkung Buku 1*. 2006: 385–390.
31. **Wijonarko S.** Neraca Air: Konsep yang perlu dimasukkan dalam alat pemantau kuantitas air. *J Tek Lingkung Buku 2*. 2006: 299–306.
32. **Wijonarko S.** Important aspects in designing a new telemetering system for the Jratunseluna River basin development. *J Ilm GIGA*. 2001; 4 (11): 44–50.
33. **Wijonarko S, Mochjidin K.** Masalah dampak dan usulan untuk mengatasi masalah sensor duga muka air di wilayah Sungai Jratunseluna. *J Ilm GIGA*. 2001; 4 (11): 8–11.
34. **Wijonarko S.** Faktor X dalam pengujian perambatan gelombang radio. *Jurnal GIGA Jakarta*. 2000; 3 (8): 7–12.
35. **Wijonarko S.** Sistem elektronik penguji simpangan roda kendaraan. *Jurnal GIGA Jakarta*, 2000; 3 (6).
36. **Wijonarko S.** Percobaan pembuatan anemometer suara. *J Ilm Untag Jakarta*. 1999; 5 (1): 1–7.
37. **Wijonarko S.** Model sistem peringatan dini untuk mendeteksi tsunami Jawa Timur. *J Ilm Untag Jakarta*. 1998; 4 (1): 11–9.
38. **Wijonarko S.** Beberapa kendala dalam penerapan sistem telemetri untuk mendeteksi kerusakan lingkungan pantai. *Warta ISOI*. 1998.
39. **Wijonarko S.** Dampak pembangunan sistem telemetri terhadap lingkungan dengan penekanan pada wilayah pesisir. *Warta ISOI*. 1998.
40. **Wijonarko S.** Pengamatan unjuk kerja stasiun curah hujan untuk wilayah perairan laut. *Warta ISOI*. 1993; 4 (Juni): 5–8.

41. **Wijonarko S.** Pemanfaatan statistik dalam pengujian karakteristik tapis. *Buletin Instrumentasi dan Metrologi*. 1992; 3 (Juni): 10–15.
42. **Wijonarko S.** Permasalahan sensor duga muka air dan upaya penanggulangannya. *Buletin Instrumentasi dan Metrologi*. 1992; 3 (Maret): 1–7.
43. **Wijonarko S.** Besaran-besaran perambatan gelombang radio untuk telemetri. *Buletin Instrumentasi dan Metrologi*. 1989.

Prosiding Internasional

44. Sirenden BH, Mursanto P, **Wijonarko S.** Dynamic texture analysis using auto-correlation function of histogram similarity measure from galois-field texture representation of water flow video. Dalam: **2020 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)**. 2020: 51–56.
45. Rofianingrum MY, **Wijonarko S,** Maftukhah T, Purwowibowo. Determination of PUSPIPTEK's health security level based on UV index measurement. Dalam: *AIP Conference Proceedings*. 2020.
46. Sirenden BH, Arymurthy AM, Mursanto P, **Wijonarko S.** Algorithm comparisons among space time volume velocimetry, Horn-Schunk, and Lucas-Kanade for the analysis of water surface velocity image sequences. 2019 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA). 2019: 47–52.
47. Prakosa JA, **Wijonarko S,** Rustandi D. The performance measurement test on rain gauge of tipping bucket due to controlling of the water flow rate. *Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*. Dalam: *IEEE Conference of Russian*. 2018: 1136–1140,
48. **Wijonarko S,** Sirenden BH, Maftukhah T, Rustandi D, Darmayanti NTE, Qiyaman D. Embedded water for home industry yogurt: a study for saving potential of water to face climate

change. Dalam: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 012022-1–012022–6.

49. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Instrumentation system for water balance measurements on Serkuk Subbasin, Kubu Watershed, Belitung. Dalam: AIP Conference Proceedings. 2016. 020005-1–020005-7.

Prosiding Nasional

50. Qiyaman DM, Rustandi D, Maftukhah T, Sirenden BH, **Wijonarko S**. Pengujian stabilitas kalibrator penakar curah hujan menggunakan sensor cawan berjungkit. Dalam: PPI-KIM ke-44; 2018: 176–187.
51. Rustandi D, Maftukhah T, Prakosa JA, **Wijonarko S**, Sirenden BH. Penentuan daerah ukur terbaik 5.000 ml sebagai standar volume dalam sistem pengujian sensor curah hujan. Dalam: PPI-KIM ke-43; 2017: 60–69.
52. Prakosa JA, **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D, Sirenden BH. Pengaruh corong tambahan terhadap hasil pengujian volume cawan berjungkit 17,7 ml pada sistem pengukur mawar hujan. Dalam: PPI-KIM ke-43; 2017: 115–125.
53. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D, Tjahyo EDN, Permana D, Santosa B. A method to compare two hyetometer calibrators. Dalam: PPI-KIM ke-42. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2016: 354–364.
54. Maftukhah T, **Wijonarko S**. Aplikasi pengukuran luas obyek menggunakan kamera. Dalam: PPI-KIM ke-41. Tangerang Selatan: Puslit Metrologi-LIPI; 2015: 143–52.
55. **Wijonarko S**. Variasi limpasan permukaan berbasis data bulanan di subdas PDAM Serkuk. Dalam: PPI-KIM. Tangerang Selatan; 2014: 91–102.
56. Maftukhah T, **Wijonarko S**, Afandi MI, Sediono W. Protokol komunikasi jaringan sensor pada sistem instrumen neraca air. Da-

- lam: PPI-KIM ke-40. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2014: 170–179.
57. Luvita V, Sugiarta AT, **Wijonarko S**. Pengolahan grey water menjadi air bersih dengan metode ozonasi dan filtrasi. Dalam: PPI-KIM ke-40. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2014: 235–242.
 58. **Wijonarko S**. Penggalakan sistem pemantau deposisi asam. Dalam: Kipnas. Jakarta: LIPI; 2013: 739–748.
 59. **Wijonarko S**. Penggunaan instrumen air dalam pengelolaan air: suatu usulan kebijakan. Dalam: Kipnas. Jakarta: LIPI; 2013: 749–760.
 60. **Wijonarko S**, Maftukhah S, Santosa H. Delineasi dan pengukuran luas subdas PDAM Serkuk. Dalam: Seminar Nasional Fisika. Tangerang Selatan; 2013: 596–604.
 61. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Perbandingan hasil pengukuran resapan air dengan cincin tunggal dan cincin ganda. Dalam: Seminar Nasional Fisika. Tangerang Selatan; 2013: 605–614.
 62. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Pengaruh serasah terhadap hasil pengukuran resapan air: studi di kawasan PDAM Serkuk DAS Kubu. Dalam: PPI-KIM ke-39. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2013: 1–14.
 63. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Afandi MI. Studi awal debit Sungai Kubu di PDAM Serkuk Belitung untuk pemenuhan kebutuhan air bersih masyarakat. Dalam: PPI-KIM ke-39. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2013: 250–260.
 64. **Wijonarko S**, Maftukhah T. Karakteristik curah hujan dalam kaitannya dengan sensor infiltrasi. Dalam: PPI-KIM ke-38. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2012: 49–58.
 65. **Wijonarko S**, Wahono DR, Maftukhah T. Pengaruh perbedaan suhu ambien pada pengukuran penguapan air. Dalam: Seminar Nasional Fisika. P2 Fisika-LIPI; 2012: 290–298.

66. **Wijonarko S**, Wahono DR, Maftukhah T. Pengaruh posisi vertikal tabung pengukuran terhadap hasil pengukuran penguapan air. Dalam: Seminar Nasional Fisika. P2 Fisika-LIPI; 2012: 299–306.
67. **Wijonarko S**. Penggunaan komponen mitov untuk pengukuran kecepatan gerak obyek berbasis video. Dalam: PPI-KIM ke-38. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2012: 450–460.
68. **Wijonarko S**. Pemanfaatan instrumen pengukur kecepatan angin di Bangka-Belitung. Dalam: Prosiding Siptekgan XVI-2012. Bogor: Pusat Teknologi Penerbangan-LAPAN; 2012: 633–639.
69. **Wijonarko S**. Pengembangan sistem pengukuran aliran untuk pelatihan. Dalam: PPI-KIM ke-37. Tangerang Selatan: Puslit KIM-LIPI; 2011: 135–146.
70. **Wijonarko S**. Penyebab masalah custody transfer dan upaya penanganannya untuk sistem pengukuran aliran dengan memakai Orifice. Dalam: PPI-KIM ke-37. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2011: 420–429.
71. **Wijonarko S**. Pemanfaatan video kamera berbasis nirkabel sebagai instrumen pendidikan. Dalam: Seminar Nasional Fisika. Tangerang Selatan; 2011: 832–840.
72. **Wijonarko S**. Sistem penjejak perahu. Dalam: PPI-KIM ke-36. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2010: 155–164.
73. **Wijonarko S**. Sistem pengirim dan pendeteksi isyarat permintaan bantuan. Dalam: PPI-KIM ke-36. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2010: 270–276.
74. **Wijonarko S**. Langkah awal untuk menyusun sistem penyebaran informasi peringatan dini tsunami khas Indonesia yang terstandardisasi. Dalam: PPI-KIM ke-35. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2009: 408–418.
75. **Wijonarko S**. Pemanfaatan hasil pengukuran kualitas air tanah untuk memprediksi risiko degradasi kualitas air tanah di daerah reklamasi Pulau Pramuka. Dalam: PPI-KIM ke-35. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2009: 234–243.

76. **Wijonarko S.** Kendala utama dalam memprediksi perubahan iklim di Kepulauan Seribu dari aspek instrumentasi. Dalam: Prosiding Seminar Nasional Proyeksi Iklim & Kualitas Udara 2010–2014. Bandung: LAPAN Bandung; 2009: 375–380.
77. **Wijonarko S.** Upaya mengatasi pengaruh aliran lateral di saluran air terhadap unjuk kerja sensor duga muka air jenis pelampung. Dalam: PPI-KIM ke-34. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2008: 327–338.
78. **Wijonarko S, Wahono DR, Sediono W, Ngatenan, Hermana A, Hopmans A.** Alat duga muka air semi otomatis. Dalam: PPI-KIM ke-34. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2008: 339–351.
79. **Wijonarko S.** Korelasi antara suhu udara dan curah hujan. Dalam: PPI-KIM ke-33. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2007: 322–328.
80. **Wijonarko S.** Peran termometer dalam pemantauan pemanasan lokal. Dalam: PPI-KIM ke-17. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 2007: 329–338.
81. **Wijonarko S.** Perubahan tipe hujan di Indonesia dengan penekanan pada DAS Citarum. Dalam: Proceedings Simposium Rehabilitasi Daerah Aliran Sungai Citarum, dari Konsep Keilmuan Menuju Aksi, LIPI-BPLHD Jabar; 2003: 30–35.
82. **Wijonarko S.** Tantangan dalam pengembangan instrumentasi untuk menuju budaya air yang baru. Dalam: Proceedings Simposium Rehabilitasi Daerah Aliran Sungai Citarum, dari Konsep Keilmuan Menuju Aksi, LIPI-BPLHD Jabar; 2003: 113–118.
83. **Wijonarko S.** Beberapa upaya mengatasi masalah dalam penerapan sistem telemetri radio untuk memantau kualitas air Sungai di Malang dan sekitarnya. Dalam: Proceedings ECCIS Unbra Malang; 2000: 56–61.
84. **Wijonarko S.** Kuat medan ban 70 MHz, 150 MHz, dan 450 MHz. Dalam: Proceedings ECCIS, Unbra; 2000: 62–67
85. **Wijonarko S.** Standar sistem telemetri hidrologi dan meteorologi di Indonesia. Dalam: Diseminasi Ilmiah Masalah Pengelolaan

Sumber Daya Air. Jakarta: Direktorat Pendayagunaan dan Pengamanan Sumber Daya Air; 1999: 1–17.

86. **Wijonarko S.** Pemanfaatan sistem komunikasi suara untuk mendukung pembuatan sistem telemetri non-poling yang dapat diperintahkan. Dalam: PPI-KIM ke-19. Tangerang: Puslitbang KIM-LIPI; 1993: 259–268.
87. Wahono DR, **Wijonarko S.** Pengujian SWR antena di lapangan. Dalam: PPI-KIM Ke-19. Tangerang: Puslitbang KIM-LIPI; 1993: 412–418.
88. Wahono DR, **Wijonarko S**, Syamsudin M, Sofian U. Pengamatan unjuk kerja stasiun curah hujan sistem telemetri di lapangan. Dalam: PPI-KIM ke-19. Tangerang: Puslitbang KIM-LIPI; 1993: 428–435.
89. **Wijonarko S.** Perancangan sistem peringatan dini untuk penyelamatan lingkungan. Dalam: Keselamatan Radiasi dan Lingkungan BATAN; 1993: 50–54.
90. **Wijonarko S.** Beberapa pertimbangan dalam penentuan stasiun pengulang untuk sistem telemetering. Dalam: PPI-KIM. Tangerang: Puslit KIM-LIPI ke-18; 1992: 42–46.
91. Najamudin A, **Wijonarko S.** Menentukan batas ukur pits sproket untuk kabel manik sensor ketinggian air. Dalam: PPI-KIM ke-17. Tangerang: Puslit KIM-LIPI; 1991: 70–73.
92. **Wijonarko S.** Pemanfaatan sistem telemetri pada pengukuran kualitas air sungai. Dalam: Simposium Fisika. Jakarta; 1990: 80–85.
93. Wahono DR, **Wijonarko S.** Pengaruh naik dan turunnya beban lawan terhadap hasil pengujian sensor ketinggian air jenis apung (LK 5051 WL). Dalam: PPI-KIM ke-15. Tangerang: Puslitbang KIM-LIPI; 1989: 317–321.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

Paten Nasional

1. Sirinden BH, **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D. Metode perhitungan dinamis indeks air maya. Paten Indonesia No. P00201907073. 2019.
2. Rofianingrum MY, Widyatmoko B, Bayuwati D, Kurniawan E, Mulyanto I, Suryadi, **Wijonarko S**. Sensor berat berbasis serat optik dengan deformer campuran pasir dan karet silikon. Paten Indonesia No. P00201904060. Indonesia; 2019.
3. Maftukhah T, **Wijonarko S**, Sirinden BH, Purwowibowo, Afandi MI, Mulyanto I, Rustandi D. Alat kalibrator sensor tipping bucket berbasis web dengan variasi volume air tabung dan metode penggunaannya. Paten Indonesia No. P00201904061. 2019.
4. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Rustandi D, Sirinden BH, Prakosa JA, Sediono W, Darna Y, Sukanda R, Pinandito M. Sistem otomatis untuk mengkalibrasi pengukur curah hujan tipe cawan berjungkit (tipping bucket). Paten Indonesia No. P00201707655. 2017.
5. Suandi A, Rukmana, Rusjadi D, Hermawanto D, Prasasti NR, Palupi MR, Zaid G, **Wijonarko S**, Pinandito M. Sistem kalibrasi alat pengukur tingkat kebisingan dengan menggunakan ruang kecil tanpa gema. Paten Indonesia No. P0020160346.
6. **Wijonarko S**, Maftukhah T, Santosa HH, Rustandi D, Ngatenan, Sediono W. Sistem dan metode untuk mengukur curah hujan berdasarkan arah mata angin dan kemiringannya. Paten Indonesia No. No. P00201508281. 2015.
7. Rustandi D, Harimawan A, **Wijonarko S**, Pendi D, Purwanto E. Metode dan alat untuk mengukur tinggi muka air danau. Paten Indonesia No. No. P00201508285. 2015.
8. **Wijonarko S**. dkk. Sistem dan metoda untuk mengukur intersepsi air hujan pada kanopi tanaman keras. Paten Indonesia No. P0020130480. 2013.
9. **Wijonarko S**. dkk. Sistem dan metoda untuk mengukur neraca air di daerah penangkapan air. Paten Indonesia No. P00201304802. 2013.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama:	Dr. Ir. Sensus Wijonarko, M.Sc.
Tempat, Tanggal Lahir:	Yogyakarta, 4 Oktober 1961
Anak ke-:	7 dari 7 Bersaudara
Jenis Kelamin:	Pria
Nama Ayah Kandung:	Drs. H. Rahmono (Alm.)
Nama Ibu Kandung:	Hj. Rustini (Almh.)
Nama Istri:	Drg. Pujiati Sri Lestari
Jumlah Anak:	2
Nama Anak:	1. Erla Mychelisda, S.E., M.Bkg&Fin. 2. Elka Mychelisda, S.Si.
Nama Instansi:	Pusat Penelitian Fisika-LIPI
Judul Orasi:	Instrumentasi Neraca Air dalam Sistem Pengamat Hidrometeorologi Terpadu untuk Upaya mewujudkan Ketahanan Air
Bidang Kepakaran:	Teknologi Instrumentasi
No. SK Pangkat Terakhir:	41/K Tahun 2015 (28 Juli 2015), Pembina Utama Madya
No. SK Peneliti Ahli Utama:	203/M Tahun 2014 (5 Desember 2014) tentang Pengangkatan dalam Jabatan Fungsional Keahlian Utama

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/Universitas	Tempat/ Kota/ Negara	Tahun Lulus
1	SD	BOPKRI	Yogyakarta	1973
2	SMP	PIRI II Bersubsidi	Yogyakarta	1976
3	SMA	IKIP I	Yogyakarta	1980
4	S0	UGM	Yogyakarta	1985
5	S1	UGM	Yogyakarta	1986
6	S2	UMIST & <i>The Victoria University of Manchester</i>	Manchester, UK	1998
7	S3	UNJ	Jakarta	2009

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1	Mengetik	Yogyakarta	1979
2	Stenografi	Yogyakarta	1979
3	Kursus Kesehatan Jiwa Bagi Remaja Angkatan Ke II	Yogyakarta	1980
4	Mengetik	Yogyakarta	1980
5	<i>Training & Research Program for Coastal Resources Management</i>	Yogyakarta	1980
6	Kuliah Kerja Nyata	Temanggung	1985
7	Prajabatan Level III	Jakarta	1988
8	<i>National Workshop on Analysis of Tidal and Related Data of Regional Ocean Dynamics</i>	Jakarta	1990

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
9	Kursus Pemodelan Masalah Kelautan, Hidrologi-Geofisika, Geologi-Aerodinamika & Dinamika Fluida-Teknik Lingkungan	Bandung	1991
10	<i>The fourth Annual spot Satellite and GIS Training Course</i>	Jakarta	1991
11	<i>Indonesia Australia Telecommunication Workshop (AIT-el-94)</i>	Bandung	1994
12	<i>Regional Workshop on Real Time Flood Forecasting Model</i>	Cirebon	1994
13	<i>English for Academic Purposes (1000 hours)</i>	Jakarta	1995–1996
14	<i>Modicon Quantum PLC Programming Language</i>	Tangerang	1999
15	ADUM/Diklatpim TK IV	Jakarta	1999
16	<i>Internet User Package</i>	Jakarta	2000
17	<i>Internet Homepage Designer</i>	Jakarta	2000
18	<i>Course of Ocean Modeling</i>	Jakarta	2002
19	Peningkatan Mutu Jurnal Ilmiah	Tangerang	2002
20	SPAMA/Diklatpim TK.III	Bogor	2010

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
21	Workshop Penguatan Kedepuitan Bidang Jasa Ilmiah LIPI melalui Implementasi Sistem Pengelolaan Pengetahuan untuk Meningkatkan Kinerja LIPI dan Daya Saing Nasional	Bali	2011
22	Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah	Jakarta	2011
23	<i>Training Programme on Strenghtening of Measurement Standards of Asia Pacific Countries</i>	Tangerang Selatan	2011
24	Pelatihan Sistem Manajemen Mutu Berbasis SNI ISO 9001-2008	Tangerang Selatan	2011
25	Lokakarya Riset Interdisiplin	Jakarta	2012
26	<i>Workshop</i> Penulisan Artikel dan Terbit pada Jurnal Internasional	Tangerang Selatan	2012
27	Mikrotik	Jakarta	2012
28	<i>Patent Drafting Workshop</i> Tingkat Dasar	Tangerang Selatan	2013
29	<i>Patent Drafting Workshop</i> Tingkat Lanjut	Bandung	2013
30	<i>Web Design</i>	Tangerang Selatan	2013

No.	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
31	<i>Workshop</i> Peningkatan Kapabilitas Layanan Iptek Bidang Jasa Ilmiah Menuju LIPI Berkelas Dunia	Lombok	2014
32	TOT Widyaiswara Luar Biasa/Fasilitator Dikfung Peneliti Berjenjang	Bogor	2014
33	Penulisan Artikel untuk Publikasi di <i>Nature Journals</i>	Online	2021

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1	Kepala Laboratorium Instrumentasi Hidrometeo	Puslit KIM-LIPI	2000–2001
2	Kepala Bidang Instrumentasi	Puslit KIM-LIPI	2009–2014

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Asisten Peneliti Muda	1-1-1991 s.d. 30-11-1993
2	Asisten Peneliti Madya	1-12-1993 s.d. 31-10-1994
3	Ajun Peneliti Muda	1-11-1994 s.d. 31-3-1997
4	Kandidat Peneliti	1-4-1997 s.d. 31-12-1997
5	Ajun Peneliti Muda	1-1-1998 s.d. 30-11-1999
6	Ajun Peneliti Madya	1-12-1999 s.d. 28-2-2003
7	Peneliti Muda	1-3-2003 s.d. 30-11-2004
8	Peneliti Madya	1-12-2004 s.d. 29-12-2005

9	Peneliti Madya	30-12-2005 s.d. 30-9-2009
10	Peneliti Madya	1-10-2009 s.d. 31-5-2014
11	Peneliti Utama	1-06-2014 s.d. 30-9-sekarang

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

Tidak ada

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1	PPI KIM	Peserta	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	1989
2	Simposium Fisika Jakarta	Peserta	UI-HFI (Jakarta)	1990
3	PPI KIM	Pemakalah	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	1991
4	Seminar Nasional Metodologi Pra- kiraan Dampak Da- lam AMDAL	Peserta	PPLH-LP IPB (Bogor)	1992
5	PPI KIM	Pemakalah	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	1992
6	Seminar Ilmiah Fisi- ka	Pemakalah	P3FT-LIPI (Bandung)	1993
7	Presentasi Ilmi- ah Keselamatan Lingkungan	Pemakalah	Batan (Jakarta)	1993
8	PPI KIM	Pemakalah	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	1993

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
9	<i>National Conference on ERS-1/LAND-SAT/SPOT Applications: a complementary approach</i>	Peserta	BPPT & Bako-surtanal (Jakarta)	1993
10	Dampak Pembangunan Terhadap Wilayah Pesisir	Peserta	LIPI-LH/Bapedal (Jakarta)	1994
11	<i>Meeting on Tsunami Caused by East Java Earth Quake</i>	Peserta	LIPI (Jakarta)	1994
12	Penyuluhan Hak Paten	Peserta	LIPI (Tangerang)	1994
13	Oseanologi dan Ilmu Lingkungan Laut	Peserta	ISOI (Jakarta)	1995
14	Seminar on Coastal Engineering	Peserta	P2O-LIPI (Jakarta)	1996
15	Kongres IV ISOI	Peserta	ISOI (Jakarta)	1998
16	Konferensi Energi, Sumberdaya Alam dan Lingkungan	Peserta	BPPT (Jakarta)	1998
17	<i>Franco-Indonesia Space Industry and Hi-Tech Conference</i>	Peserta	BPPT (Jakarta)	1999
18	Nasional Maritim I	Peserta	ISOI (Jakarta)	2000
19	Manajemen Wilayah Pesisir yang Berwawasan Lingkungan	Peserta	ISOI (Jakarta)	2000
20	<i>Electric, Control, Communication & Information Seminar</i>	Pemakalah	Unbraw (Malang)	2000

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
21	Seminar Laut Nasional III	Pemakalah	ISOI (Jakarta)	2001
22	Komitmen Internasional tentang Lingkungan Global dan Posisi Indonesia dalam Tataran Lokal, Regional dan Internasional	Peserta	DKP (Jakarta)	2001
23	Otonomi Perguruan Tinggi	Peserta	UNJ (Jakarta)	2002
24	Profil Masyarakat Pesisir	Peserta	UNJ (Jakarta)	2003
25	Temu Wicara Ilmiah Sehari	Juri Lomba Pidata Bahasa Inggris	SMU Tarakanita 1 (Jakarta)	2003
26	PPI KIM	Peserta	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2003
27	Simposium Rehabilitasi DAS Citarum: Dari Konsep Menuju Aksi	Pemakalah	LIPI (Tangerang)	2003
28	Penelitian Lingkungan di Perguruan Tinggi	Pemakalah	IATPI-ITB (Bandung)	2006
29	Kiat-kiat Memenangkan Proyek	Peserta	LIPI (Bandung)	2007
30	Penelitian Lingkungan di Perguruan Tinggi	Pemakalah	IATPI-UI (Jakarta)	2007

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
31	PPI KIM	Pemakalah	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2007
32	Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia	Pemakalah	IATPI (Jakarta)	2008
33	Siptekgan XII-2008	Pemakalah	LAPAN (Tangsel)	2008
34	PPI KIM	Pemakalah	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2008
35	PPI Standardisasi	Pemakalah	BSN (Jakarta)	2008
36	Penguatan Riset Material Metalurgi Menuju Kemandirian Teknologi	Pemakalah	P2M-LIPI (Jakarta)	2007
37	PPI KIM	Ketua Panitia	Puslit KIM-LIPI (Tangerang Selatan)	2009
38	Seminar Nasional Proyeksi Iklim dan Kualitas Udara 2010–2014	Pemakalah	LAPAN (Bandung)	2009
39	Geomorfologi	Panitia	P2O-LIPI (Jakarta)	2009
40	PPI KIM	Ketua Panitia	Puslit KIM-LIPI (Tangerang Selatan)	2010
41	<i>Asia Pacific Metrology Programme</i>	Peserta	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2010
42	Pemantauan Kualitas Lingkungan Hidup	Peserta	Pusarpedal (Tangerang Selatan)	2010

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
43	Indikator IPTEK Potret Iptek Indonesia: Kondisi Terkini Litbang Industri Manufaktur	Peserta	Pappiptek-LIPI (Jakarta)	2010
44	PPI KIM	Pemakalah	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2011
45	SNF	Pemakalah	P2 Fisika-LIPI (Tangerang Selatan)	2011
46	Peningkatan Output Litbangyasa untuk Mewujudkan Perekonomian Indonesia	Peserta	Kemenristek (Tangerang Selatan)	2011
47	Kipnas	Pemakalah	LIPI (Jakarta)	2011
48	<i>Rise to the Water Challenge</i>	Peserta	AIPI, Ristek, NWO, Redboud University Nijmegen, Akademie van Wetenschappen (Jakarta)	2011
49	SNF	Pemakalah	P2 Fisika-LIPI (Tangerang Selatan)	2012
50	FGD Peneliti dan Profesor Riset	Peserta	LIPI dan Kementerian Keuangan (Jakarta)	2012
51	PPI KIM	Pemakalah	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2012
52	Siptekgan XII-2008	Pemakalah	LAPAN (Tangsel)	2012

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
53	Peningkatan Kinerja Operasi Tungku ME-11 untuk Proses Reduksi pada Proses Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir PLTN	Penilai Ahli	BATAN (Jakarta)	2013
54	PPI KIM	Peserta	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2013
55	Alih Teknologi dan Pemanfaatan Hasil Litbang dalam Rangka Implementasi PP 20/2005	Peserta	Kemenristek (Tangerang Selatan)	2013
56	SNF	Pemakalah	P2 Fisika-LIPI (Tangerang Selatan)	2013
57	Dari Air Kembali ke Air (ICIAR)	Peserta	ICIAR-LIPI (Tangerang Selatan)	2013
58	FGD Penelitian Kompetitif Tahap Perencanaan	Pembicara	P2 Ekonomi-LIPI (Tangerang Selatan)	2014
59	<i>The Asia-Pacific Metrology Programme Mid-year Meeting</i>	Peserta	P2 KIM-LIPI (Bangka Barat)	2014
60	PPI KIM	Pemakalah	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2014
61	FGD Penelitian Kompetitif Tahap Pemasangan Awal	Peserta	P2 Ekonomi-LIPI (Jakarta)	2014

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
62	Sosialisasi dan FGD Pembuatan Sistem Pemantau Pengolahan dan Distribusi Air Minum untuk PDAM Bangka Barat	Peserta	P2 Ekonomi-LIPI (Bangka Barat)	2014
63	Pelatihan Instrumen Neraca Air	Trainer	P2 Ekonomi-LIPI (Belitung)	2014
64	Sosialisasi Hasil Penelitian di Belitung	Pembicara dan Moderator	P2 Ekonomi-LIPI (Bwlitung)	2014
65	<i>Disaster Management Collaboration Dialogue Workshop between Indonesia and Japan on Mitigation of Jakarta Flooding</i>	Peserta	<i>PUPR & Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Government of Japan</i>	2014
66	PPI KIM	Peserta	Puslit KIM-LIPI (Tangerang Selatan)	2015
67	PPI KIM	Pemakalah	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2016
68	PPI KIM	Peserta	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2017
69	ICONMET	Moderator	Puslit Metrologi-LIPI (Jakarta)	2017
70	PPI KIM	Peserta	Puslit KIM-LIPI (Jakarta)	2018

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
71	Workshop Program Pengembangan Teknologi Industri Tahun 2019	Peserta	RistekDikti (Denpasar)	2019
72	Seminar Nasional 2 Geomorfologi Faktor Geomorfologi dalam Pembangunan dan Pengelolaan Sumber Daya Air (Ketahanan Air)	Pembicara dan Moderator	Badan Geologi (Yogyakarta)	2019

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1	Jurnal Instrumentasi	BSN	<i>Reviewer</i>	2019–sekarang
2	Jurnal Instrumentasi	Puslit Metrologi-LIPI	<i>Reviewer</i>	2014–2018
3	Prosiding PPI-KIM	Puslit Metrologi-LIPI	<i>Reviewer</i>	2014–2018

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	45
2	Bersama Penulis Lainnya	48
	Total	93

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Bahasa Indonesia	73
2	Bahasa Inggris	20
3	Bahasa Lainnya	0
	Total	93

J. Pembinaan Kader Ilmiah

Pejabat Fungsional Peneliti

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
1	Bondan Dwi Setyo	LIPI	Bimbingan penulisan	2016
2	Chery Chaen Putri	LIPI	Bimbingan penulisan	2016
3	Swivano Agmal	LIPI	Bimbingan penulisan	2016
4	Yulita Ika Pawestri	LIPI	Bimbingan penulisan	2016
5	Nelfyenny	LIPI	Bimbingan penulisan	2016
6	Dika Setiawan	LIPI	Bimbingan penulisan	2016
7	Nadya Larasati Kartika	LIPI	Bimbingan penulisan	2016
8	Diina Qiyaman	LIPI	Bimbingan penulisan	2016
9	Fajar Budi	LIPI	Bimbingan penulisan	2016
10	Artha Ivonita	LIPI	Bimbingan penulisan	2016

No.	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
11	Ananda Leonard Arios	Baristand Industri Bandar Lampung	Bimbingan penulisan	2016
12	Budi Jati Achmadi	Balai Besar Logam dan Mesin	Bimbingan penulisan	2016
13	Yudi Satria	Balai Besar Kerajinan dan Batik Yogyakarta	Bimbingan penulisan	2016
14	Karim Abdullah	Baristand Industri Bandar Lampung	Bimbingan penulisan	2016
15	Hadid Tunas Bangsawan	Baristand Industri Surabaya	Bimbingan penulisan	2016
16	Andri Yuniardi	PUPR	Bimbingan penulisan	2017
17	Iwan Susanto	PUPR	Bimbingan penulisan	2017
18	Risma Putra	PUPR	Bimbingan penulisan	2017
19	Riyadhi Salim	PUPR	Bimbingan penulisan	2017
20	Rochmat Yan Yannuar	PUPR	Bimbingan penulisan	2017

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Mahasiswa

No.	Nama	PT/Uni- versitas	Peran/Tugas	Tahun
1	Novita Fitriani	UNJ	Pembimbing Kerja Praktek	2018
2	Leni Andayani	UNJ	Pembimbing Kerja Praktek	2018
3	Annis Shella Nur'Islamia	UNJ	Pembimbing Kerja Praktek	2018
4	Bernadus H. Sirinden	UI	Kopromotor S3	2018– sekarang
5	Ayub Kurnia Sitorus	USU	Pembimbing S1	2020
6	Harapan Mar- paung	USU	Pembimbing S1	2020

K. Afiliasi Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1	Anggota	HIMII	1987–Sekarang
2	Anggota	HIMPENINDO	2014–Sekarang
3	Anggota	IADLI	2004–Sekarang

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Satyalancana Karya Satya 10 Tahun	Presiden RI	2001
2	Satyalancana Karya Satya 20 Tahun	Presiden RI	2011
3	Satyalancana Karya Satya 30 Tahun	Presiden RI	2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.



LIPI

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
Website: lipipress.lipi.go.id



Buku ini tidak diperjualbelikan.