



## ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG AERODINAMIKA

# INOVASI TEKNOLOGI PENGUJIAN AERODINAMIKA DAN AEROELASTIKA UNTUK RANCANG BANGUN JEMBATAN BENTANG PANJANG



Jembatan Merah Putih



Jembatan Suramadu



Model Terowongan  
Angin Jembatan  
Merah Putih



Model Terowongan  
Angin Jembatan  
Suramadu

OLEH:  
**FARIDUZZAMAN**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL  
JAKARTA, 26 OKTOBER 2022**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

**INOVASI TEKNOLOGI  
PENGUJIAN AERODINAMIKA  
DAN AEROELASTIKA  
UNTUK RANCANG BANGUN  
JEMBATAN BENTANG PANJANG**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2022 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC-BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
BIDANG AERODINAMIKA**

**INOVASI TEKNOLOGI  
PENGUJIAN AERODINAMIKA  
DAN AEROELASTIKA  
UNTUK RANCANG BANGUN  
JEMBATAN BENTANG PANJANG**

**OLEH:  
FARIDUZZAMAN**

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL  
JAKARTA, 26 OKTOBER 2022**

© 2022 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)  
Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, Kawasan Sains dan Teknologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Inovasi Teknologi Pengujian Aerodinamika dan Aeroelastika untuk Rancang Bangun Jembatan Bentang Panjang/Fariduzzaman–Jakarta: Penerbit BRIN, 2022.

xi + 80 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-8052-08-0 (cetak)  
978-623-8052-07-3 (e-book)

- |                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| 1. Aerodinamika     | 2. Aeroelastika             |
| 3. Terowongan Angin | 4. Jembatan Bentang Panjang |

624.3

*Copy editor* : Anton Winarko  
*Proofreader* : Rahma Hilma Taslima & Dhevi E.I.R. Mahelingga  
*Penata Isi* : Dhevi E.I.R. Mahelingga  
*Desainer Sampul* : S. Imam Setyawan

Cetakan Pertama : Oktober 2022

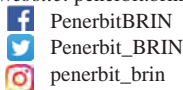


Diterbitkan oleh:  
Penerbit BRIN, anggota Ikapi  
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah  
Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8,  
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

Whatsapp: 0811-8612-369

*E-mail*: [penerbit@brin.go.id](mailto:penerbit@brin.go.id)

*Website*: [penerbit.brin.go.id](http://penerbit.brin.go.id)



## BIODATA RINGKAS



**Fariduzzaman** lahir di Cianjur pada tanggal 17 Mei 1961 adalah anak kesatu dari Almarhum Bapak Sulaiman Azhari dan Almarhumah Ibu Tjitjah Aisah. Menikah dengan Dra. Palupi Dwi P., Apt. dan dikaruniai tiga orang anak, yaitu Muhammad Abdurrafi, Hanifah Fuadi, dan Fisilmy Hayati.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022 diangkat sebagai Peneliti Utama di lingkungan BRIN terhitung mulai tanggal 1 Oktober 2022.

Berdasarkan Keputusan Kepala BRIN Nomor 299/I/HK/2022, tanggal 6 Oktober 2022 tentang Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan orasi Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan SD Negeri Pacet Kabupaten Cianjur tahun 1973, SMP Negeri Cipanas Kabupaten Cianjur tahun 1976 dan SMA Negeri Cianjur tahun 1980. Memperoleh gelar sarjana dari Jurusan Fisika-FMIPA ITB tahun 1986, gelar Magister bidang *Scientific and Engineering Software Technology* dari Thames Polytechnic (Greenwich University), Inggris tahun 1991, gelar Magister bidang Aeroelastisitas dari Jurusan Teknik Penerbangan ITB tahun 2001, dan gelar Doktor Bidang Aeroelastisitas Jembatan Bentang Panjang dari Jurusan Teknik Penerbangan ITB tahun 2007.

Mengikuti beberapa pelatihan terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain: External Balance Operation dari SCHENCK GmbH di Serpong tahun 1987; Visualization of

Flow around A Building Model and in a Boiler Duct Model, Master of LDV and its Application Technique through Actual Velocity Measurement of a Nozzle Flow dari AOTS-Mitsubishi Heavy Industries di Nagasaki, Jepang tahun 1988; dan Vibration and Acoustic Analysis dari Laboratorium Angkasa Luar Belanda (NLR) di Amsterdam, Belanda tahun 1991. Teknik Pengukuran dan Akuisisi Data pada Sistem Aliran Fluida dan Perpindahan Kalor dari PAU-UGM di Yogyakarta tahun 1993; Realtime and Operating System dari JSIST Singapore di Singapura tahun 1993; APROPOS Data Processing dari NLR Belanda di Belanda tahun 1994; Wind Tunnel Instrumentation and Hot Wire Technique dari NMCP-NLR Belanda di Belanda tahun 2002; Pengelolaan Laboratorium Pengujian/Kalibrasi berdasarkan SNI ISO/IEC 17025:2008 dari SMTP-LIPI di Serpong tahun 2010; Four Channel Streamline CTA dari DANTEC-Dynamic di Serpong tahun 2013; dan LaVision 2D PIV System dari LaVision GmbH di Serpong tahun 2017.

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Sub. Bid. Teknik Rekayasa dan Informatika Elektronika UPT-LAGG (tahun 1991–1999), Kepala Kelompok Non-Aeronautika UPT-LAGG (tahun 2002–2009), Kepala Balai PPTAGG UPT-LAGG (tahun 2009–2014), Kepala UPT-LAGG (tahun 2014–2016), dan Kepala Balai Besar Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika (BBTA3) (tahun 2016– 2018).

Jabatan fungsional peneliti diawali, sebagai Asisten Peneliti Madya golongan Penata Muda Tk. I-III/b (tahun 1993), Ajun Peneliti Muda golongan Penata-III/c (tahun 1996), Ajun Peneliti Madya golongan Penata-III/c (tahun 1998), Peneliti Muda golongan Penata Tk. I-III/d (tahun 2000), Peneliti Madya golongan Pembina-IV/a (tahun 2002), Ahli Peneliti Muda golongan Pembina Tk. I-IV/b (tahun 2005), Peneliti Utama Bidang Teknik Ruang Angkasa golongan Pembina Utama

Madya IV/d (tahun 2008), dan pada 1 April 2012 mendapat kenaikan golongan ke Pembina Utama IV/e.

Menghasilkan 114 karya tulis ilmiah, baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 37 KTI ditulis dalam bahasa Inggris.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai Anggota Tim Penguji Thesis S-2 Teknik Penerbangan ITB, Anggota Tim Penguji Disertasi S-3 Teknik Kelautan ITS dan Pembimbing mahasiswa S-3 ITB.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota Himpunan Peneliti Indonesia/Perhimpunan Periset Indonesia (2021–2022).

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Wira Karya dalam penelitian, pengkajian, pengembangan, inovasi dan perintisan keahlian Uji Jembatan Bentang Panjang di BPPT (tahun 2004), Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 1999), Satyalancana Karya Satya XX Tahun (tahun 2007) dan Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (tahun 2017).



Buku ini tidak diperjualbelikan.

## DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS .....	v
PRAKATA PENGUKUHAN .....	xi
I. PENDAHULUAN .....	1
II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PENGUJIAN AERODINAMIKA DAN AEROELASTIKA JEMBATAN BENTANG PANJANG .....	3
2.1 Prinsip Dasar Aerodinamika dan Aeroelastika Jembatan Bentang Panjang .....	4
2.2 Perkembangan Teknologi Pengujian Aerodinamika dan Aeroelastika Jembatan pada Masa Lalu .....	8
2.3 Perkembangan Teknologi Pengujian Aerodinamika dan Aeroelastika Jembatan pada Masa Kini .....	9
2.4 Perkembangan Teknologi Pengujian Aerodinamika dan Aeroelastika Jembatan pada Masa Depan .....	10
III. INOVASI PENGUJIAN AERODINAMIKA DAN AEROELASTIKA JEMBATAN BENTANG PANJANG .....	12
3.1 Metode Pengujian .....	12
3.2 Pembuatan Model Uji .....	14
3.3 Aliran Angin .....	17
3.4 Sistem Pengukuran Data Statis .....	18
3.5 Sistem Pengukuran Data Dinamik .....	19
3.6 Sistem Pengolahan dan Analisis Data .....	20
IV. PENERAPAN PENGUJIAN AERODINAMIKA DAN AEROELASTIKA JEMBATAN BENTANG PANJANG .....	22
4.1 Potensi Penerapan Pengujian .....	22
4.2 Rekomendasi Metode Pengujian .....	23
V. KESIMPULAN .....	24
VI. PENUTUP .....	25
UCAPAN TERIMA KASIH .....	26
DAFTAR PUSTAKA .....	28
LAMPIRAN .....	35
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH .....	44
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA .....	59
DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....	64

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## PRAKATA PENGUKUHAN

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.*

*Assalaamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.*

Salam sejahtera untuk kita semua.

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

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat dan karunia-Nya sehingga kita semua bisa hadir pada hari ini, pada acara orasi Pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

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

**“INOVASI TEKNOLOGI PENGUJIAN AERODINAMIKA  
DAN AEROELASTIKA UNTUK RANCANG BANGUN  
JEMBATAN BENTANG PANJANG”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## I. PENDAHULUAN

Aerodinamika adalah disiplin ilmu dan teknologi yang terkait dengan aliran udara (angin atau *aero*) di sekitar struktur, baik yang kaku (*rigid*) maupun yang lentur (*flexible*). Jembatan bentang panjang dan sayap pesawat terbang adalah contoh struktur yang lentur. Jembatan bentang panjang, selain menerima aspek pembebanan gempa bumi (seismik), juga menerima beban angin (aerodinamika) dan interaksi aerodinamika dengan struktur jembatan yang dikenal dengan aeroelastika<sup>1</sup>.

Pergerakan struktur jembatan bentang panjang akibat beban angin telah diketahui sejak lama dan beberapa kasus keruntuhan jembatan bentang panjang juga telah terjadi. Fenomena ini baru dipahami setelah terjadi keruntuhan Jembatan Tacoma Narrow, Amerika Serikat pada tanggal 10 November 1940 ketika kecepatan angin hanya 18 m/detik. Kecepatan angin yang rendah ini sudah dapat menimbulkan fenomena aerodinamika dan aeroelastika yang mampu meruntuhkan struktur jembatan<sup>2</sup>. Oleh karena itu, perancang jembatan bentang panjang harus memperhitungkan kemungkinan terjadi fenomena aerodinamika dan aeroelastika pada rancangan struktur. Namun, hal ini hanya dapat diketahui dengan melakukan pengujian terowongan angin, ketika parameter aerodinamika dan aeroelastika dapat diperoleh secara akurat<sup>1,3</sup>.

Pengetahuan aerodinamika dan aeroelastika serta pengalaman pengujian yang terbatas dari kebanyakan perancang jembatan bentang panjang di Indonesia menjadi pendorong utama untuk melakukan riset dan inovasi teknologi pengujian terowongan angin. Kegiatan riset dan inovasi makin intensif dilakukan ketika pengujian aerodinamika dan aeroelastika Jembatan Suramadu model 2 dimensi (2D) yang dikenal dengan Uji Model Seksional dan model 3 dimensi (3D) yang dikenal

dengan Uji Model Penuh. Riset dan inovasi dapat berlangsung karena Indonesia telah memiliki sumber daya manusia dan infrastruktur pengujian aerodinamika dan aeroelastika, yakni terowongan angin berkecepatan rendah yang dikenal dengan *Indonesian Low Speed Tunnel* (ILST) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1<sup>4,5</sup>. Inovasi penting dari teknologi pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang di terowongan angin adalah penerapan metode Zimmerman<sup>6</sup> dan analisis data menggunakan kurva 3D<sup>7</sup>. Metode Zimmerman biasanya digunakan pada pengujian pesawat terbang sehingga penerapannya untuk pengujian model jembatan bentang panjang menjadi kebaruan dari riset dan inovasi ini.

Metode Zimmerman yang diaplikasikan waktu pengujian model Jembatan Suramadu telah memberikan informasi berharga dalam perancangan struktur jembatan. Analisis data menggunakan kurva 3D telah mengungkap penemuan baru induksi resonansi, yakni *Low wind Speed Heaving Resonance* (*LSHR*)<sup>8</sup>. Hingga kini, Jembatan Suramadu telah beroperasi secara penuh tanpa mengalami gangguan aerodinamika dan aeroelastika yang berarti. Inovasi pengujian juga telah diterapkan pada pembangunan lebih dari 17 jembatan lainnya, antara lain Jembatan Merah Putih di Ambon, Jembatan Holtekam di Papua dan Jembatan Tayan di Kalimantan Barat.

Pada naskah orasi ini, disajikan riset dan inovasi pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang, khususnya untuk mendukung rancang bangun jembatan bentang panjang dalam negeri. Selanjutnya, disajikan tentang perkembangan teknologi pengujian jembatan bentang panjang pada masa lalu, masa kini, dan masa depan. Pada bab selanjutnya disampaikan tentang inovasi teknologi pengujian jembatan bentang panjang serta penerapan pengujiannya. Orasi ditutup dengan kesimpulan dan penutup.

## II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PENGUJIAN AERODINAMIKA DAN AEROELASTIKA JEMBATAN BENTANG PANJANG

Pengetahuan dan pemahaman perancang terhadap aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang di Indonesia terus berkembang, terutama setelah berdiri beberapa jembatan bentang panjang, seperti Bareleng, Suramadu, Merah Putih, dan beberapa jembatan gantung pejalan kaki<sup>9,10</sup>. Kemudian, ditemukan pula gangguan angin pada jembatan yang sudah jadi, antara lain Jembatan Tayan<sup>11</sup>. Fenomena aerodinamika dan aeroelastika yang mungkin timbul pada kecepatan angin operasional jembatan setelah jadi (kecepatan angin rata-rata setempat) dapat dideteksi sejak dini. Perancang struktur jembatan masih memiliki kesempatan untuk mengubah rancangannya guna mengantisipasi timbulnya bencana atau gangguan angin yang berbahaya.

Proses perancangan jembatan bentang panjang dimulai dari konsep perancangan yang kemudian diwujudkan sebagai gambar teknik rancangan, pada tahap ini disebut sebagai jembatan *prototype*. Kemudian, berdasarkan gambar teknis ini, perancang jembatan membuat analisis komputasi untuk beban statik dan dinamik menggunakan perangkat lunak berbasis *numerical finite element method* (FEM), hasilnya biasa disebut model numerik FEM<sup>12</sup>. Pengujian aerodinamika dan aeroelastika di terowongan angin adalah proses lebih lanjut setelah analisis model numerik FEM. Dapat pula dikatakan bahwa pengujian terowongan angin adalah proses simulasi laboratorium dari jembatan *prototype*. Dengan demikian, rujukan utama model terowongan angin adalah rancangan jembatan dan hasil analisis dari model numerik FEM<sup>13,14</sup>.



Prinsip dasar, beberapa istilah yang berlaku, dan fenomena yang terjadi dalam aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang dapat dijelaskan sebagai berikut.

## 2.1 Prinsip Dasar Aerodinamika dan Aeroelastika Jembatan Bentang Panjang

Fenomena aerodinamika dan aeroelastika timbul ketika angin melalui struktur yang lentur. Struktur lentur inilah yang menjadi tipikal struktur jembatan bentang panjang<sup>15,16</sup>. Penjelasan paling sederhana untuk aerodinamika dapat dilihat pada sketsa potongan dek yang berupa pelat di bidang 2 dimensi (2D), seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Jika bidang 2D tersebut adalah bidang  $XZ$ , dengan  $X$  adalah arah horizontal/lateral dan  $Z$  adalah arah vertikal, parameter aerodinamika awal yang bekerja pada bidang 2D tersebut adalah gaya dan momen di sumbu struktur, atau dinyatakan dalam bentuk koefisien, yaitu koefisien gaya normal ( $C_N$ ), koefisien gaya tangensial ( $C_T$ ) dan koefisien momen torsi ( $C_M$ ). Selanjutnya, apabila angin dengan kecepatan tertentu berembus melalui struktur dengan sudut datang  $\alpha$ ,  $C_N$ ,  $C_T$  dan  $C_M$  perlu ditransformasikan terhadap  $\alpha$  untuk menjadi koefisien gaya angkat (*lift*)  $C_L$ , koefisien gaya hambat (*drag*)  $C_D$ , dan koefisien momen torsi (*pitch*)  $C_M$ <sup>17,18</sup>.

Aerodinamika juga membahas perilaku aliran angin sekitar struktur. Angin yang semula lurus akan terbagi ketika sampai di struktur, sebagian melalui permukaan atas dan sebagian melalui permukaan bawah. Di permukaan struktur terjadi aliran lapis batas, aliran separasi ketika terlepas dari permukaan struktur, dan aliran *vortex* (pusaran angin berulak) di belakang struktur<sup>1,2</sup>. Metode analisis pola aliran ini banyak dibahas dalam metode visualisasi aliran (*flow visualization*)<sup>19</sup>. Dengan metode ini dapat pula diketahui, tingkat besarnya gaya dan momen aerodinamika yang terjadi<sup>20</sup>.

Apabila struktur yang dilalui angin adalah struktur lentur, yakni bentuk geometri yang bisa berubah (*deflection*) atau posisi yang bisa berpindah (*displacement*), gaya dan momen aerodinamikanya juga akan berubah terhadap waktu. Pada struktur lentur ini terjadi interaksi dinamik antara aerodinamika dan struktur sehingga menimbulkan fenomena khusus yang disebut dengan aeroelastika<sup>1,2</sup>. Secara 2D, model fisik gerakan dek jembatan bentang panjang dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 3. Ada tiga moda getar pada sistem seperti ini, yaitu moda *heaving* (*vertical bending*), moda torsion, dan moda *swaying* (*lateral* atau *horizontal bending*)<sup>2,18,21</sup>.

Dalam aeroelastika, aliran sekitar struktur akan memengaruhi karakteristik dinamika dari strukturnya dalam bentuk induksi. Walaupun induksi getaran pada struktur jembatan bentang panjang bisa saja timbul oleh sumber gaya dinamik lainnya, seperti kendaraan yang lewat, gempa bumi, dan orang yang berjalan di atas jembatan. Namun, aeroelastik hanya membahas fenomena induksi akibat angin semata. Pada jembatan bentang panjang, fenomena aeroelastik yang dominan adalah sebagai berikut<sup>2,18</sup>:

- 1) getaran induksi resonansi (GIR) atau *resonance induced vibration* yang diinduksi oleh pusaran angin berulak (*vortex*) baik primer maupun sekunder,
- 2) osilasi struktur oleh *galloping* (gerakan ayunan bentangan), dan
- 3) ketidakstabilan struktur akibat *flutter*.

Getaran induksi resonansi (GIR) terjadi karena adanya sumber fluktuasi luar yang memiliki frekuensi sama dengan frekuensi natural struktur. Pada jembatan bentang panjang, induksi resonansi terjadi apabila frekuensi fluktuasi *vortex* di belakang struktur sama dengan frekuensi natural struktur<sup>2,22</sup>. Jika

*vortex* berasal dari struktur primer (seperti dek, kabel dan *pylon*), induksi resonansi yang terjadi adalah getaran induksi *vortex*, GIV (*vortex induced vibration, VIV*). Jika *vortex* berasal dari struktur sekunder (seperti pagar, *separator*, dan profil lainnya, di atas atau di bawah permukaan dek), induksi resonansi yang terjadi adalah *low wind speed heaving resonance (LSHR)*<sup>8,23,24</sup>. Pembentukan *vortex* di sekitar dek dapat ditunjukkan secara visual menggunakan hasil simulasi komputasi (Gambar 4), tampak bahwa *vortex* dapat terjadi di permukaan dek (*vortex* sekunder) dan di belakang dek (*vortex* primer)<sup>21</sup>.

Fenomena *flutter* adalah fenomena ketidakstabilan struktur yang timbul apabila redaman total (jumlah redaman aerodinamika dan redaman struktur) mendekati nol<sup>1,25</sup>. Dengan kata lain, energi yang diterima struktur dari angin tidak dapat dihilangkan oleh struktur sehingga kemudian struktur bergetar dengan amplitudo yang makin besar sampai struktur tidak mampu lagi menahannya dan jembatan akhirnya runtuh<sup>26,27</sup>. Adapun *galloping* timbul sebagai ayunan melingkar bentangan jembatan pada sumbu longitudinal dan bidang yang tegak lurus sumbu tersebut. Tipikal fenomena seperti ini sering terjadi pada bentangan kabel transmisi listrik, penggantung dek jembatan (*hanger*), dan pada jembatan gantung pejalan kaki yang panjang<sup>2,28</sup>.

Struktur lentur akan bergetar atau berubah posisi dalam bentuk atau moda getar (ragam getar atau *mode shape*) yang dimilikinya, hal ini akan tampak secara jelas ketika terjadi eksitasi di frekuensi tunggal yang unik terkait moda getar tersebut atau dikenal sebagai frekuensi natural ( $f_n$ ). Ada beberapa parameter penting lainnya yang juga harus diketahui terkait karakteristik dinamik struktur lentur, yakni redaman natural ( $z_n$ ), kerapatan massa ( $m$ ) dan kerapatan momen inersia massa ( $I_\alpha$ )<sup>29,30</sup>. Jembatan bentang panjang berperilaku sebagai suatu struktur yang dinamik

maka diperlukan pula sistem monitoring strukturnya selama jembatan beroperasi dalam rangka meningkatkan dan memeriksa kekuatan struktur jembatan untuk memenuhi persyaratan layan. Asesmen dan monitoring struktur jembatan bentang panjang diperlukan ketika ditemukan penyimpangan<sup>25,31</sup>.

Metode analisis aerodinamika dan aeroelastika terus berkembang—baik secara analitik, komputasional, semiempiris, maupun empiris—dengan tujuan yang sama, yakni mengetahui sejak dini karakteristik aerodinamika dan aeroelastika jembatan yang dirancang, mengadakan perbaikan rancangan jika diperlukan, mendapatkan rancangan struktur jembatan bentang panjang yang bisa tahan dan aman terhadap pengaruh beban angin (*wind proof*), serta mampu memenuhi usia layan<sup>25,32</sup>. Metode analitik hanya terbatas pada topik-topik yang khusus<sup>33</sup>, sedangkan metode numerik komputasional adalah metode yang terus berkembang dan di masa depan bisa saja menjadi metode analisis penting, yang hasilnya setara dengan metode eksperimen. Namun, sampai saat ini, sekalipun kemampuan metode komputasi telah sangat maju, analisis aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang masih terbatas pada elemen-elemen struktur yang bentuknya sederhana dan belum terintegrasi. Contohnya, untuk optimasi bentuk dek saja atau elemen pengarah angin (*fairing*)<sup>34</sup>, metode komputasi belum mampu melakukan analisis aerodinamika dan aeroelastik secara terintegrasi untuk keseluruhan struktur jembatan<sup>21,25,35</sup>.

Metode semiempiris hasilnya perlu dicermati dengan teliti, karena terkadang memberikan hasil yang kurang tepat. Contohnya, penentuan kecepatan *flutter* ( $U_f$ ) yang menggunakan rumus Selberg<sup>1</sup> sering memberikan prediksi yang tidak tepat. Begitu pula, untuk metode semiempiris yang banyak digunakan yakni metode Scanlan<sup>14,15</sup>. Metode ini menggunakan model

matematika gerak struktur (disebut pula persamaan gerak) dengan substitusi koefisien hasil uji model seksional dinamik di terowongan angin, yang disebut dengan *aerodynamic derivative*<sup>2,14</sup>. Oleh karena itu, metode empiris pengujian terowongan angin hingga kini masih tetap menjadi rujukan utama para perancang jembatan dalam memahami pengaruh angin pada struktur jembatan bentang panjang yang dirancangnya. Tantangan utama pada metode analisis ini adalah menjaga kesetaraan dari model jembatan di terowongan angin dengan jembatan aktual yang akan dibangun<sup>36,37</sup>. Untuk jembatan yang sangat panjang, diperlukan terowongan angin yang sangat besar supaya model uji juga tidak terlalu kecil<sup>38,39</sup>.

## **2.2 Perkembangan Teknologi Pengujian Aerodinamika dan Aeroelastika Jembatan pada Masa Lalu**

Sejak keruntuhan Jembatan Tacoma Narrow Amerika Serikat, berbagai pengujian terowongan angin telah dilakukan sehingga fenomena yang terjadi dapat difahami dengan benar dan lengkap. Adanya gaya dan momen aerodinamika dan adanya interaksi aerodinamika dengan struktur yang lentur, dikenal dengan aeroelastika<sup>2,18</sup>. Hasil riset kasus Tacoma pada masa lalu tersebut menunjukkan bahwa pengujian terowongan angin adalah sarana yang paling tepat untuk memahami fenomena yang terjadi<sup>40</sup>.

Pada masa itu, model uji dibuat dari kayu dan penelitian lebih bersifat kualitatif, yakni mendeteksi timbulnya induksi *vortex* secara visual. Kini, pengujian aerodinamika dan aeroelastika model jembatan di terowongan angin bersifat kualitatif dan kuantitatif, serta menjadi keharusan untuk dilakukan oleh perancang jembatan bentang panjang<sup>12,41</sup>.

### 2.3 Perkembangan Teknologi Pengujian Aerodinamika dan Aeroelastika Jembatan pada Masa Kini

Fenomena aeroelastik yang terjadi di jembatan bentang panjang seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Gerakan dek di bentang tengah dapat disimulasikan sebagai gerakan model 2D, yang dikenal dengan model seksional (*sectional model*). Selain itu, dapat juga dibuat model terowongan angin yang mereplika hampir seluruh elemen struktur jembatan bentang panjang atau disebut model 3D. Model seperti ini dikenal dengan model penuh (*full model*)<sup>3,42</sup>.

Jika model seksional dapat bergerak (berosilasi) akibat beban angin, disebut sebagai model seksional dinamik<sup>43</sup>, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Pada pengujian dinamik, model uji disangga oleh sistem suspensi pegas sehingga dapat bergerak sesuai moda getar yang dimilikinya, secara skematis konfigurasinya ditunjukkan pada Gambar 7. Model adalah 2D maka ada delapan pegas yang terpasang dan kekakuan pegas (*stiffnes*) mewakili kekakuan struktur dek jembatan yang aktual. Selain sebagai model dinamik, model seksional juga sering digunakan sekaligus sebagai model seksional statik, yaitu model tidak bergerak (pegas tidak dipasang), untuk kemudian diukur gaya dan momen aerodinamiknya<sup>44</sup>.

Model penuh memiliki keunggulan khusus, yakni uji dengan angin dapat dilakukan sampai dengan struktur mendekati *flutter*, karena itu, nilai prediksi kecepatan *flutter* ( $U_f$ ) yang diperoleh lebih akurat dibandingkan dengan model seksional<sup>45,46</sup>. Sementara itu, model seksional memiliki kelebihan dari segi sensitivitas terhadap induksi resonansi, karena ukuran model dek yang lebih besar sehingga replika geometri struktur di dek bisa lebih terperinci. Dengan kata lain, prediksi kecepatan angin terjadinya getaran induksi resonansi ( $U_{GIR}$ ) dengan model

seksional lebih akurat dibandingkan dengan model penuh<sup>47</sup>. Dari segi biaya dan waktu eksekusi pengujian, model penuh memerlukan waktu yang lebih lama, sekitar tiga kali lipat dari waktu dan biaya uji model seksional<sup>39</sup>. Pengujian terowongan angin adalah pengujian yang menghasilkan sejumlah data yang besar, meliputi data statis (data tidak berubah terhadap waktu disebut pula data *stationer*) dan data dinamik (data berubah terhadap waktu disebut pula data *instationer*)<sup>43,44</sup>.

## 2.4 Perkembangan Teknologi Pengujian Aerodinamika dan Aeroelastika Jembatan pada Masa Depan

Tiga aspek penting dalam teknologi pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang yang akan berevolusi seiring dengan perkembangan teknologi elektronika dan sistem informasi antara lain adalah model uji, sistem pengujian, dan analisis data. Kegiatan awal untuk menggunakan teknologi terbaru dalam proses pengujian sudah mulai dilakukan di ILST maka tidak lama lagi proses migrasi ke teknologi pengujian yang lebih maju dan efisien akan berlangsung cepat. Proses pembuatan model selama ini memakan waktu antara 1 sampai 3 bulan. Di masa depan, pembuatan model diperkirakan hanya perlu waktu satu minggu dengan menggunakan teknologi *3D printer* yang lebih maju. Sistem akuisisi data yang dipenuhi kabel instrumen diperkirakan akan rapi dan bersih dalam masa mendatang, karena berkembang sistem instrumentasi *wireless*<sup>40,42</sup>. Proses pengujian yang selama ini mengharuskan mitra datang ke lokasi terowongan angin, pada masa depan cukup melalui *video conference* dan *remote monitoring*. Pengamatan visualisasi aliran angin dan osilasi model yang selama ini memerlukan sejumlah material/alat bantu, seperti asap (*smoke*), *buble*, dan partikel *reflector*, pada masa depan tidak diperlukan lagi, cukup menggunakan *high speed camera*<sup>48,49</sup>. Kemajuan pesat teknologi

komputasi yang didukung dengan *artificial intelligence* dan *internet of things (IoT)*, juga akan mengurangi fungsi terowongan angin dalam analisis aerodinamika dan aeroelastika<sup>50</sup>. Integrasi sistem *computational fluid dynamics* (CFD) dengan sistem *computer aided dynamics analysis* (CADA), pada waktunya akan terselesaikan dengan mudah<sup>21,42</sup>.



### **III. INOVASI PENGUJIAN AERODINAMIKA DAN AEROELASTIKA JEMBATAN BENTANG PANJANG**

Inovasi teknologi pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang yang telah dilakukan tidak lain adalah proses pengembangan metode eksperimen di terowongan angin ILST. Proses inovasi ini meliputi metode pengujian, pembuatan model uji, penentuan jenis aliran angin selama pengujian, sistem pengukuran data statis, dan sistem pengukuran data dinamik.

#### **3.1 Metode Pengujian**

Inovasi metode pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang di ILST mulai intensif dilakukan menjelang pengujian Jembatan Suramadu yang berlangsung paralel di Indonesia dan Tiongkok, seperti ditunjukkan pada Gambar 8 untuk pengujian di Terowongan Angin ILST Indonesia dan Gambar 9 untuk pengujian di Terowongan Angin FL-13 CARDC Tiongkok. Pengujian ini memberi dampak positif bagi perkembangan teknologi aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang di Indonesia, karena perancang jembatan dengan mudah dapat berkomunikasi dan berkonsultasi langsung dengan tim pengujian ILST, tanpa hambatan bahasa sama sekali<sup>4,32</sup>.

Dalam pengujian terowongan angin, metode pengujian akan berkaitan erat dengan beberapa faktor, antara lain model uji, terowongan angin, sistem akuisisi, serta teori dan penerapannya dalam pengolahan data<sup>42,44,48</sup>. Ada tiga metode pengujian terowongan angin yang paling sering digunakan dan menjadi pilihan bagi para perancang jembatan bentang panjang: pengujian model seksional statis, pengujian model seksional dinamik, dan pengujian model penuh. Pengujian model seksional statis

adalah pengujian untuk mendapatkan parameter aerodinamika:  $C_L$ ,  $C_D$  dan  $C_M$ <sup>44</sup>. Pengujian model seksional dinamik<sup>45</sup> adalah pengujian untuk mendapatkan parameter aeroelastika, yakni kecepatan angin timbulnya getaran induksi *vortex* ( $U_{GIV}$ )<sup>24,47,51</sup>, kecepatan angin timbulnya LSHR ( $U_{LSHR}$ )<sup>8,23</sup>, dan kecepatan angin timbulnya *flutter* ( $U_p$ )<sup>25,26,27</sup>.

Uji model penuh dilakukan apabila dalam uji model seksional ditemukan kasus khusus yang perlu kajian lebih mendalam. Pada model penuh interaksi antar dek, *pylon*, dan *hanger* dapat disimulasikan lebih baik. Metode pengujian model penuh hampir sama dengan model seksional dinamik, hanya pada penentuan kecepatan angin *flutter* ( $U_p$ ) dengan model penuh, angin dialirkan dengan kecepatan yang naik secara bertahap sampai fenomena *flutter* terlihat<sup>27,45</sup>. Selain model seksional dan model penuh, metode uji model lainnya lebih bersifat penelitian dan pengkajian untuk memperkaya pengetahuan dan pengalaman tenaga ahli Indonesia. Sebagian penelitian juga ditujukan untuk pengembangan komponen struktur nonesensial dan uji produk pendukung konstruksi, contohnya uji metode taut strip<sup>52,53,54</sup>, uji kabel penggantung (*hanger*)<sup>28</sup>, penelitian efek *railing/fence* dan ketinggian dek dari muka Bumi<sup>55</sup>.

Hasil inovasi yang merupakan *state of the art* metode pengujian di ILST adalah penerapan metode empiris penuh dari Zimmerman, untuk prediksi kecepatan angin *flutter* ( $U_p$ ). Belum ada yang menggunakan metode ini pada uji jembatan bentang panjang, para ahli teknik sipil di dunia lebih banyak menggunakan metode semiempiris Scanlan<sup>15</sup>. Sementara itu, metode Zimmerman lebih sering digunakan untuk prediksi kecepatan angin *flutter* di sayap pesawat terbang<sup>6</sup>. Pada metode Scanlan, data hasil pengujian model seksional disubsititusi ke model matematika (persamaan gerak) untuk kemudian

diselesaikan solusi persamaan diferensialnya secara numerik atau analitik. Dengan demikian, metode ini memerlukan waktu analisis data yang cukup lama, umumnya sekitar 3 hari sehingga potensi kesalahan dalam pengolahan data menjadi tinggi. Metode Zimmerman adalah metode empiris penuh, yaitu pengukuran kecepatan *flutter* ditentukan dari pengukuran frekuensi dan redaman model dalam aliran angin dengan menggunakan parameter yang disebut *flutter margin*<sup>6,56</sup>. Dengan metode ini, penyelesaian analisis data bisa langsung didapat setelah pengujian, yakni paling lama 2 jam sehingga potensi kesalahan dalam mengolah data menjadi kecil. Pengujian deteksi induksi resonansi berikut kecepatan angin ( $U_{GIR}$ ) dan frekuensinya cukup dilakukan dengan memeriksa kurva spektrum data menggunakan *fast Fourier transform* (FFT)<sup>47,53,54</sup>.

### 3.2 Pembuatan Model Uji

Model uji dibuat dengan dasar rancangan yang berupa gambar teknis jembatan *prototype* serta hasil simulasi komputasi model numerik FEM. Kemudian, ditetapkan metode pengujian dan kaidah kesetaraan (*similarity law*) yang diperlukan. Metode yang sistematis dan praktis harus disusun untuk memandu tim desain dan pembuatan model. Ukuran model harus sedemikian rupa sehingga model uji sesuai dengan ukuran seksi uji terowongan angin, ukuran model ini terkait erat dengan parameter kesetaraan skala perkecilan model ( $n$ ) yang ditetapkan<sup>36,37</sup>.

Material model terowongan angin tidak mungkin menggunakan material beton atau baja yang sama dengan struktur aktual. Model terowongan angin adalah material yang lebih sederhana, biasanya komposit polimer, plastik, pelat baja, kawat baja, aluminium, dan kayu. Untuk itu, inovasi pembuatan model harus dilakukan terlebih dulu, mulai dari perancangan model sampai pada bahan yang akan digunakan, tanpa melanggar

kaidah-kaidah kesetaraan baku yang nantinya harus dipenuhi. Model terowongan angin juga dibuat sesuai dengan metode pengujiannya: model seksional statis, model seksional dinamik, atau model penuh<sup>12,13,48</sup>.

Data gaya dan momen aerodinamika dari model statis, seperti  $C_L$ ,  $C_D$  dan  $C_M$ , diperoleh dengan integrasi data tekanan sekeliling permukaan penampang model uji. Dengan demikian, model uji harus dipersiapkan untuk memiliki sejumlah lubang tekanan di sekeliling penampang seksional dek, seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Pada model seksional statis, kaidah kesetaraan yang harus dipenuhi hanyalah kesetaraan bentuk geometri dan profil permukaan luar dari model dek saja<sup>7,44</sup>.

Inovasi model seksional statis lebih banyak ditujukan untuk meningkatkan proses pembuatan model yang lebih singkat, ketelitian replika profil model yang lebih tinggi, serta menggunakan semaksimal mungkin bahan-bahan yang tersedia di pasar lokal dan berkualitas tinggi. Kini, beberapa komponen yang kecil, seperti *railing* dan *separator*, tidak lagi dicetak sebagai komposit *fiber*, tetapi menggunakan 3D *printer* dengan bahan *thermoplastic* dan *rapid prototyping machine* (RPM)<sup>23,41,42</sup>.

Model seksional dinamik adalah model yang harus memenuhi kriteria kesetaraan aerodinamik seperti di model statis dan juga kriteria kesetaraan aeroelastik. Model harus mampu beresilasi pada derajat kebebasan yang telah ditentukan. Data aeroelastik yang dihasilkan adalah kecepatan angin timbulnya induksi resonansi ( $U_{GIV}$  dan  $U_{LSHR}$ ) dan kecepatan angin dimulainya *flutter* ( $U_f$ )<sup>48</sup>. Pada model seksional dinamik, sedikitnya ada dua kaidah kesetaraan yang harus dipenuhi: (1) kesetaraan aerodinamika, yang diwakili oleh bentuk geometri dan profil dek bagian luar yang setara dan (2) kesetaraan dinamika struktur, yang diwakili oleh kesetaraan beberapa rasio parameter dinamika struktur,

seperti rasio frekuensi natural ( $f$ ), rasio redaman natural ( $\zeta$ ), rasio rapat massa ( $\mu$ ) dan rasio rapat momen inersia massa ( $I_\alpha$ ). Dari parameter-parameter tersebut, yang paling penting adalah rasio frekuensi natural, karena frekuensi ini secara intrinsik telah mewarisi karakteristik rapat massa atau rapat momen inersia massa<sup>29,48</sup>.

Inovasi pembuatan model seksional dinamik, antara lain sebagai berikut (1) Pengurangan berat model dan meningkatkan presisi replika bentuk elemen struktur agar rasio frekuensi sebagai parameter kesetaraan dapat diperoleh dengan cepat dan akurat menggunakan 3D *printer* atau RPM, dan (2) Merancang dan membuat suatu mekanisme di model untuk mengatur rasio frekuensi model uji<sup>43</sup>. Frekuensi natural *heaving* merupakan fungsi dari kekakuan pegas ( $k$ ) dan massa dari model uji ( $m$ ), sedangkan frekuensi natural torsi adalah fungsi dari kekakuan pegas ( $k$ ), massa model uji ( $m$ ), dan jarak titik putar model terhadap dudukan pegas ( $e$ ). Proses pengaturan frekuensi natural model uji dilakukan melalui pengukuran modal (*modal measurement*), menggunakan *impact hammer* atau *exciter*<sup>30,43</sup>.

Pada model penuh, secara garis besar, karakteristik dinamika struktur model diwakili oleh tiga komponen utama, yakni model *pylon*, model dek, dan model *hanger*. Sementara itu, karakteristik aerodinamika diwakili oleh kesetaraan bentuk geometri dan profil seluruh komponen jembatan bentang panjang. Skala pengecilan yang besar pada model penuh menjadikan ukuran model menjadi sangat kecil dibandingkan ukuran seksi uji. Oleh karena itu, pada model yang terlalu kecil, model penuh menjadi kurang sensitif terhadap induksi resonansi, tetapi dapat mendeteksi dan menyimulasikan timbulnya *flutter* secara baik. Model penuh dibuat dengan cara mengintegrasikan komponen-komponen model yang asalnya dibuat individual dan terpisah

menjadi satu kesatuan model penuh<sup>39,45</sup>. Setelah satu model penuh selesai dirangkai, berikutnya adalah pemeriksaan frekuensi natural dan mengaturnya melalui mekanisme yang telah dirancang sebelumnya sehingga parameter kesetaraan dipenuhi dan karakteristik dinamika strukturnya setara dengan hasil model numerik FEM yang diberikan perancang jembatan bentang panjang. Gambar 11 menunjukkan peralatan untuk *tuning* model jembatan bentang panjang menggunakan metode pengukuran modal, *impact hammer*<sup>22,35,46</sup>.

Inovasi pembuatan model penuh meliputi cara mereplika komponen model yang ukurannya kecil, seperti untuk *railing*, *fairing*, dan *separator*, inovasi pemilihan dan penggunaan bahan untuk struktur model, perancangan rangka model *pylon* dan dek, simulasi model *hanger*, serta inovasi pembuatan mekanisme pengaturan frekuensi natural<sup>45,46</sup>. Kesetaraan rasio frekuensi natural mutlak harus dipenuhi, sedangkan parameter kesetaraan lain bisa direlaksasi sesuai dengan kesepakatan bersama antara perancang jembatan bentang panjang dan tim pengujian terowongan angin. Frekuensi *heaving* dikendalikan dari *tension* dua kawat piano, sedangkan frekuensi torsi oleh jarak antar dua kawat piano tersebut<sup>53,54</sup>. Tipikal model penuh yang telah selesai di-*tuning* dan siap untuk pengujian<sup>45</sup> ditunjukkan pada Gambar 12.

### 3.3 Aliran Angin

Angin alam adalah angin yang tidak mungkin bebas dari turbulensi. Begitu banyak variasi profil kecepatan angin di permukaan Bumi, kekasaran permukaan yang berbeda, juga ketinggian terhadap muka laut yang berbeda (*terrain*), ada juga variasi suhu udara pada ketinggian yang berbeda. Secara praktis, kecepatan angin permukaan Bumi naik secara gradual dengan bertambahnya ketinggian sampai pada satu ketinggian  $\delta$  (yang

disebut dengan ketinggian lapis batas). Di atas  $\delta$  ini, kecepatan angin akan *uniform* lagi<sup>2</sup>. Profil kecepatan angin di zona lapis batas, secara skematis ditunjukkan pada Gambar 13. Daerah tempat terjadi variasi kecepatan angin ini dikenal dengan lapis batas atmosfer (LBA) atau *atmospheric boundary layer* (ABL). Hampir semua struktur sipil, termasuk struktur jembatan bentang panjang akan berada dalam lapisan LBA ini. Dengan kata lain, kecepatan angin yang diterima struktur jembatan bentang panjang akan berbeda pada titik ketinggian yang berbeda.

Terowongan angin, termasuk juga ILST, umumnya dirancang untuk memiliki aliran angin yang *uniform* dan tingkat turbulensinya rendah. Oleh karena itu, untuk pengujian model jembatan bentang panjang, inovasi metode pengujian harus selalu dilakukan untuk membuat aliran sekitar model jembatan setara dengan aliran alam. Telah dilakukan riset khusus untuk membuat simulator LBA di terowongan angin<sup>57</sup>, dapat dilihat pada Gambar 14. Aliran turbulen sangat memengaruhi amplitudo osilasi getaran induksi resonansi (GIR), dalam hal ini, turbulensi angin dapat menekan amplitudo osilasi resonansi dek yang besar. Dengan kata lain, ketika mendeteksi timbulnya induksi resonansi, aliran angin turbulen menambah gangguan *random* terhadap *magnitude* data pengukuran, tetapi tidak terhadap frekuensi resonansi. Oleh karena itu, angin turbulen kurang tepat untuk deteksi getaran induksi resonansi ( $U_{GIR}$ ), tetapi angin *smooth* sangat diperlukan karena dapat mendeteksi timbulnya osilasi LSHR dan GIV secara jelas. Simulasi angin turbulen hanya diperlukan pada saat pengujian deteksi kecepatan angin *flutter* ( $U_f$ )<sup>57,58</sup>.

### 3.4 Sistem Pengukuran Data Statis

Ada dua jenis data dari pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang di terowongan angin, data *stationer*

yang tetap terhadap suatu selang waktu dan data *instationer* yang berubah terhadap suatu selang waktu. Pengukuran gaya dan momen aerodinamika *steady* adalah data *stationer* yang dihasilkan dari pengujian model seksional statis. Dalam hal ini, gaya dan momen *steady* ini diperoleh melalui integrasi data tekanan (dalam bentuk koefisien tekanan,  $C_p$ ) sekitar penampang dek jembatan<sup>23</sup>.

Pada sistem instrumentasi lama, data tekanan dibaca oleh satu *transducer* untuk 48 lubang tekanan, dengan *scanner* produk Scanivalve. Pergerakan *scanner* ketika berpindah antara lubang tekanan memberikan keterlambatan waktu tertentu untuk pembacaan<sup>44</sup>. Melalui inovasi sistem pengukuran, termasuk pembuatan perangkat lunak, kini data tekanan dari setiap lubang tekanan terhubung dengan satu *transducer* dan dibaca secara individual serentak tanpa keterlambatan waktu. Kemudian, datanya disimpan dalam memory elektronik untuk dibaca oleh *electronic pressure scanner* (EPS) sehingga kualitas data menjadi tinggi, karena  $C_p$  sekeliling penampang model jembatan merupakan data yang diambil serentak pada waktu yang sama<sup>17,44</sup>.

### 3.5 Sistem Pengukuran Data Dinamik

Data akselerasi, frekuensi dan redaman struktur model adalah data *instationer* yang pengukurannya dilakukan menggunakan sistem *computer aided dynamic analysis* (CADA). Pada sistem lama, pengendalian akuisisi data menggunakan *text command* dengan *software* dari Gould dan hanya tersedia dua kanal data. Sistem ini belum memiliki fasilitas jaringan komputer (*local area network*, LAN) sehingga tidak dapat dilakukan komunikasi data langsung dengan sistem *software* terowongan angin ILST yang disebut APROPOS (Aerodynamic PROcessing and Presentation Open-ended System). Sinkronisasi pengukuran antara sistem



pengukuran dinamik dengan sistem pengukuran APROPOS harus dilakukan secara *manual* sehingga pengujian berlangsung cukup lama<sup>42,51</sup>.

Inovasi telah dilakukan untuk *upgrade* sistem akuisisi dan pengolahan data dinamik. Saat ini, pengujian model jembatan bentang panjang sudah menggunakan sistem LAN-XI dari B&K dan CADAX dari LMS yang bisa mengukur enam kanal sekaligus (bahkan dengan tambahan modul bisa diekspansi ke 72 kanal) dan memiliki fasilitas jaringan, termasuk *software* berbasis Windows. Proses inovasi yang dikembangkan meliputi pembuatan *software* untuk integrasi sistem pengukuran dinamik dengan sistem APROPOS sehingga data pengukuran *instationer* dapat langsung disinkronkan dengan sistem pengukuran stationer melalui jaringan komputer dan proses pengujian berlangsung sangat cepat<sup>46,59</sup>.

### 3.6 Sistem Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data hasil pengujian jembatan bentang panjang sangat terkait erat dengan konsep pengujian yang semula dirancang, termasuk formulasi yang digunakan. Pada awalnya, proses pengumpulan dan pengolahan data dinamik dilakukan secara *offline*, karena sebelum tahun 2000, fasilitas jaringan komputer (LAN) belum penuh tersedia di ILST. Pada saat pengukuran di terowongan angin selesai, seluruh data yang diperoleh di-*import* ke aplikasi pengolahan data untuk diolah menjadi beberapa plot kurva 2D. Proses pengolahan data *offline* ini sangat lambat sehingga baru dapat diperoleh hasilnya setelah 1 atau 2 hari<sup>42</sup>.

Kemudian, dilakukanlah inovasi proses dan presentasi hasil pengolahan data, yakni mengganti presentasi *plot* cara lama (kurva 2D) menjadi *plot* kurva 3D, baik secara *online* maupun

*offline*, dikenal dengan *waterfall plot*, yakni membuat kurva yang sekaligus menghubungkan tiga parameter: fluktuasi akselerasi terhadap frekuensi dan kecepatan angin. Ternyata, penggantian metode presentasi *plot* ke 3D mampu mengungkapkan satu penemuan fenomena baru dari induksi resonansi, yakni *low wind speed heaving resonance* (LSHR)<sup>8,45</sup>. Resonansi LSHR hanya terjadi pada moda getar *heaving* dan kecepatan angin yang rendah. Pada saat digunakan plot 2D, kurva spektrum LSHR bersatu dengan kurva spektrum induksi resonansi *vortex* (GIV)<sup>39</sup>. Plot 3D menunjukkan bahwa resonansi GIV dan LSHR terpisah dan fenomenanya berbeda pula, sebagaimana terlihat pada Gambar 15. Pada tipikal kasus ini, dengan frekuensi natural struktur 15 Hz untuk moda getar *bending vertical* (*heaving*) dan 20 Hz untuk moda getar torsional, fenomena LSHR ditemukan muncul pada kecepatan angin 3,5 m/detik<sup>43</sup>.

## IV. PENERAPAN PENGUJIAN AERODINAMIKA DAN AEROELASTIKA JEMBATAN BENTANG PANJANG

Hasil-hasil inovasi yang diperoleh merupakan kontribusi penting pada pengujian jembatan bentang panjang di ILST. Penggunaan plot 3D yang ditampilkan secara *offline* dan *online* merupakan hal baru dalam pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang. Keunggulannya telah memberikan pengetahuan tentang bedanya karakteristik induksi resonansi vortex primer dan sekunder, yang kemudian menghantarkan penemuan LSHR. Data hasil pengujian model seksional statis adalah nilai koefisien  $C_L$ ,  $C_D$ , dan  $C_M$  pada berbagai variasi sudut datang angin ( $\alpha$ )<sup>40</sup>. Data hasil pengujian model seksional dinamik atau model penuh adalah kecepatan angin timbulnya induksi resonansi (yakni  $U_{GIV}$  dan  $U_{LSHR}$ ) serta kecepatan angin *flutter* ( $U_f$ )<sup>8,45</sup>. Pengujian induksi resonansi dan *flutter* dilakukan dengan cara mengalirkan angin dari 0 m/detik sampai gejala *flutter* terlihat pada model uji<sup>56</sup>.

### 4.1 Potensi Penerapan Pengujian

Berbagai proses inovasi pengujian yang dimulai pada tahun 2000 telah diterapkan pada berbagai pengujian jembatan bentang panjang Indonesia. Sebaran jembatan yang telah diuji di ILST ditunjukkan pada Gambar 16. Dari hasil pengujian terowongan angin, perancang, dan pemilik jembatan bentang panjang akan memiliki informasi yang tepat mengenai waktu terjadinya gangguan aeroelastika. Dasar penetapan batas aman untuk operasional jembatan adalah data angin rata-rata per tahun dan data angin maksimum dalam periode ulang sekurang-kurangnya 50 tahunan<sup>60</sup>. Selain frekuensi dan kecepatan angin, parameter lain yang dapat diturunkan dari hasil pengujian aeroelastika

ini adalah estimasi defleksi atau perpindahan (*displacement*) dari dek. Dalam hal ini, data *displacement* model dek dapat diperoleh dari data akselerasi yang diintegrasikan dua kali<sup>29,61</sup>. Jika *displacement* yang terjadi cukup besar, tetapi masih di bawah batas toleransi yang ditentukan oleh standar, yang terganggu hanyalah tingkat kenyamanan pengguna jembatan. Namun, apabila *displacement*-nya di luar batas toleransi ketentuan standar, rancangan struktur harus diperbaiki, karena induksi angin bisa menimbulkan kelelahan (*fatigue*) struktur atau kerusakan struktur secara berarti, yang tentu membahayakan pengguna jembatan<sup>62, 63</sup>.

## 4.2 Rekomendasi Metode Pengujian

Proses inovasi yang cukup panjang telah menghasilkan berbagai rekomendasi metode pengujian, panduan pelaksanaan pengujian dan standar operasional prosedur (SOP) untuk beberapa peralatan pengujian. Rekomendasi metode pengujian didasarkan kepada kesepakatan metode antara tim pengujian dan perancang jembatan bentang panjang. Panduan pengujian model seksional, pengujian model penuh, dan analisis eksperimental dibuat setelah hasil-hasil inovasi diterapkan pada beberapa pengujian model jembatan bentang panjang<sup>12,42</sup>. Secara ringkas, alur proses analisis eksperimental jembatan bentang panjang ditunjukkan pada Gambar 17.

## V. KESIMPULAN

Inovasi teknologi pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang telah berhasil diterapkan pada lebih dari 17 rancangan struktur jembatan di Indonesia. Inovasi ini meliputi penyusunan metode pengujian, pembuatan model uji, penetapan jenis aliran angin, serta pengembangan/*upgrade* sistem pengukuran data statis dan dinamik, termasuk sistem pengolahan dan analisis datanya. Berhasilnya penerapan produk inovasi menunjukkan bahwa teknologi pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang telah dikuasai bangsa Indonesia.

Prosedur pengujian yang dibangun dari penerapan metode Zimmerman serta pengolahan dan analisis data dengan kurva 3D merupakan kontribusi penting yang menjadi rujukan dalam pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang. Proses pengujian dan analisis data bisa berlangsung lebih cepat dan akurat. Teknologi pengujian akan terus berkembang di masa depan, dengan makin berkembangnya teknologi rancang bangun dan adanya teknologi kecerdasan buatan, *artificial intelligence* (AI) dan *internet of things* (IoT). Dengan demikian, peran pemangku kepentingan (*stakeholder*) yang terkait, seperti lembaga riset, lembaga pendidikan, pemerintah, dan industri konstruksi, menjadi sangat dibutuhkan. Implikasi kebijakan yang diharapkan adalah selalu memprioritaskan fasilitas dalam negeri untuk pengujian aerodinamika dan aeroelastika jembatan bentang panjang.

## VI. PENUTUP

Hasil inovasi teknologi pengujian aerodinamika dan aeroelastika berkontribusi dalam pembangunan jembatan bentang panjang secara signifikan. Jembatan bentang panjang merupakan infrastruktur khusus yang dibutuhkan masyarakat terutama untuk memperlancar perpindahan barang dan orang, menurunkan biaya logistik, dan meningkatkan pariwisata di Indonesia. Dengan demikian, pertumbuhan ekonomi dan devisa Negara akan meningkat.

Dengan adanya fasilitas pengujian di dalam negeri maka semua pengujian aerodinamika dan aeroelastika sudah tidak perlu dilakukan di luar negeri sehingga dana pembangunan dapat dihemat. Fasilitas yang ada dapat dimanfaatkan secara maksimal dan tenaga ahli dalam negeri makin terlatih. Potensi besar ini harus didukung oleh pemangku kepentingan (*stakeholder*), dalam meningkatkan penggunaan produk dalam negeri untuk menyongsong Indonesia maju dan tumbuh.

Dalam rangka menjamin hasil uji model yang dilakukan dan memberikan parameter pengujian yang konsisten dengan rancangan, perlu dilakukan monitoring secara berkelanjutan terhadap struktur jembatan pada saat beroperasi. Monitoring dilakukan dengan pemasangan instrumentasi di sejumlah titik di jembatan yang mengalami pembebanan kritis, yang didukung oleh teknologi terkini (seperti *artificial intelligence*, *cloud system*, dan *internet of things*).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia, Kepala BRIN yang terhormat, Deputi Bidang Infrastruktur Riset dan Inovasi, serta hadirin yang saya hormati.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenankan saya menyampaikan terima kasih dan puji syukur ke hadirat Allah Swt., yang telah memberikan karunia-Nya sehingga orasi ini dapat berjalan sebagaimana yang diharapkan.

Pada kesempatan ini juga, perkenankan saya dengan segala hormat menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M.Agr., Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani, dan Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D.

Terima kasih juga kepada Prof. Ir. Himawan Adinegoro, M.Sc. dan Prof. Dr. Ratno Nuryadi, M.Eng.; penelaah naskah orasi BRIN, Prof. Dr. Ir. Anton Adibroto, MSIE. dan Prof. Dr. Ir. Buana Ma'ruf, M.Sc.; serta kepada Tim Penelaah Internal: Dr. Agus Hadi Santosa Wargadipura, Prof. Dr. drh. Herdis M.Si., dan Prof. Dr. Ir. Lamhot P. Manalu, M.Si. atas telaahan dan arahan yang diberikan dalam penyempurnaan naskah orasi ini; serta kepada Prof. Ir. Himawan Adinegoro, M.Sc.

Terima kasih saya sampaikan kepada Kepala BPPT periode 2019–2021, Dr. Ir. Hammam Riza, M.Sc.; Plt. Deputi Bidang Infrastruktur Riset dan Inovasi, Dr. Yan Rianto, M.Eng.; Plt. Kepala Organisasi Riset PPT tahun 2021, Ir. Dadan Moh. Nurjaman, M.T.; Plt. Direktur Pengelolaan Laboratorium,

Fasilitas Riset dan Kawasan Sains Teknologi, Dr. Ir. Tjahjo Pranoto, M.Eng.; Kepala BBTA3-BPPT periode 2018–2021, Dr. Fadilah Hasim, M.Eng.; Koordinator Laboratorium Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika BRIN, Agus Basuki, M.Si.; serta semua pejabat struktural di BRIN.

Terima kasih juga disampaikan pada rekan-rekan sejawat pegawai BBTA3 yang dengan tulus memberikan bahan dan dokumen yang diperlukan; para senior LAGG/BBTA3 yang memberi kesempatan pada saya untuk melakukan penelitian, pengkajian dan inovasi selama ini: Prof. Dr. Ir. Anton Adibroto, MSIE., Ir. Basri Nasiran, M.B.A.; Dr. Ing. Surjatin Wiriadidjaja; Ir. Gunawan Wibisono, M.M.; Ir. Hadidjah Mojo M.M.; Dr. Andi Eka Sakya M.Eng.; dan Drs. Yanto Daryanto M.Sc. Kemudian kepada teman-teman sejawat generasi muda BBTA3 yang telah bekerja sama secara tim memberikan saran dan kontribusinya, baik berupa tenaga maupun waktu.

Saya mengucapkan terima kasih kepada panitia penyelenggara orasi ilmiah ini, rekan-rekan peneliti dan perekayasa, seluruh undangan dan hadirin, serta semua pihak yang telah berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung untuk kesuksesan penyelenggaraan acara pengukuhan profesor riset hari ini.

Terima kasih dan doa juga saya sampaikan untuk almarhum dan almarhumah orang tua tercinta, Sulaiman Azhari dan Tjitjah Aisah; serta almarhum dan almarhumah mertua, Soelarno Prawirohatmojo dan Enung Winangsih. Tak lupa, saya mengucapkan terima kasih pada istri, Dra. Palupi Dwi Purwariningsih, Apt.; dan anak-anakku, Rafi, Hani, dan Silmy; atas kerelaannya, karena saya mengambil waktu yang seharusnya untuk mereka.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Holmes JD. Wind loading of structures. New York: Spon Press; 2003.
2. Simiu E, Scanlan RH. Wind effects on structures 3<sup>rd</sup> edition. New York: John Wiley and Sons Inc.; 1996.
3. Diana G, Rocchi D, Belloli M. Wind tunnel: a fundamental tool for long-span bridge design. *Journal Structure and Infrastructure Engineering*. 2015;11(4):533–555.
4. Adibroto A, Nasiran B, **Fariduzzaman**. Five years operational experiences with Indonesian Low Speed Tunnel (ILST). *Proceedings 18<sup>th</sup> Congress of The International Council of The Aeronautical Sciences (ICAST)*. Beijing; 1992.
5. **Fariduzzaman**. Beberapa fungsi terowongan angin dalam bidang non-aeronautika. *Prosiding Presentasi Ilmiah Peneliti BPPT*; 1991.
6. Bennett RM. Application of Zimmerman flutter-margin criterion to a wind-tunnel model, NASA TM-84545. Hampton: NASA Langley Research center; 1982.
7. **Fariduzzaman**. Metode uji model seksional dek sebagai dasar analisis aeroelastik jembatan bentang panjang. *Majalah Pengkajian Industri (MPI)*. 2016;10(2):71–86.
8. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Zuhul LR, Nasution A. Low wind speed heaving resonance. *Proceedings of The Fourth Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics and Astronautics, The 3<sup>rd</sup> International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics*. Tainan; 2008.
9. Hadimuljono B. Mengejar ketertinggalan infrastruktur. Jakarta: Penerbit Kementerian PUPR RI; 2017.
10. Hadimuljono, B. Membangun Infrastruktur dari Pinggiran. Jakarta: Penerbit Kementerian PUPR RI; 2016.
11. Suangga M, Junianto PE. Vibration of Tayan Bridge's hanger in West Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 2019;8(4):207–212.

12. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Zuhul LR, Nasution A. Pengujian terowongan angin untuk standar perancangan jembatan bentang panjang di Indonesia. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi dan Jaminan Mutu. Jakarta: BSN; 2003.
13. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Zuhul LR, Nasution A. Experimental methods on aeroelastic bridge analysis. Proceedings International Seminar on Aerospace Technology. Yogyakarta: UGM; 2004.
14. **Fariduzzaman**, Wiriadidjaja S. Analisis aeroelastik eksperimental pada model gelagar jembatan bentang panjang. Prosiding Seminar Teknologi Untuk Negeri Vol. 1; 2002. Jakarta.
15. Fung YC. An introduction to the theory of aeroelasticity. New York: Dover Publication Inc.; 1969.
16. **Fariduzzaman**. Wind tunnel testing of wind-sensitive structures. Proceedings 4<sup>th</sup>. Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW IV). Tongji; 2007.
17. **Fariduzzaman**. Sistem instrumentasi pengukur gaya aerodinamika steady model seksional dek jembatan. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI; 2009. Serpong.
18. Sachs P. Wind forces in engineering. Oxford: Pergamon Press; 1978.
19. Merzkirch W. Flow visualization. New York: Academic Press; 1974.
20. **Fariduzzaman**. Determining aerodynamics forces on a bluff body by means of smoke flow visualization. Proceedings of the Fifth Asian Symposium on Visualization. Serpong; 1998.
21. **Fariduzzaman**. Dynamics and aerodynamics simulation of a suspension bridge deck section. Proceeding of The First Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics. Jakarta; 2000.
22. **Fariduzzaman**. Identifikasi resonansi oleh vortex pada struktur fleksibel. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (Siptekgan) XIV. Serpong; 2010.

23. **Fariduzzaman**. Study on bridge deck sections for Indonesian long span bridges. Proceedings 4<sup>th</sup>. Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW IV). Taipei; 2009.
24. **Fariduzzaman**. Eksperimen untuk mengatasi induksi vortex pada struktur. Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-16. Yogyakarta: UGM; 2010.
25. Suangga M, Mahatmaputra S. Flutter analysis software prototype for longspan bridge. Jurnal Dinamika Teknik Sipil. 2012;12(1):50–59.
26. Sukamta, Guntorojati I, **Fariduzzaman**. Flutter analysis of cable stayed bridge. Procedia Engineering Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials (SCESCM) Vol. 171; 2016:1173–1177.
27. **Fariduzzaman**. Analisis ketakstabilan flutter pada model seksional di terowongan angin. Prosiding Seminar Nasional Iptek Dirgantara (Siptekgan) VII. Serpong: Lapan; 2004.
28. Matza GA, **Fariduzzaman**, Syariefatunisa. Vortex-induced vibrations and galloping analysis of various shapes bridge hangers by using wind tunnel test. International Journal of Mechanical and Production Engineering (IJMPE). 2018 Oktober; 6(10):56–61.
29. Rao SS. Mechanical vibrations 3<sup>rd</sup>. Edition. New York: Addison-Wesley Publishing Company; 1995.
30. Ewins DJ. Modal testing: theory and practice. Hertfordshire: Research Studies Press Ltd- Bruel & Kjaer; 1986.
31. Bachmann H, Ammann W. Vibration in structures: induced by man and machines. Zurich: IABSE-AIPC-IVBH; 1987.
32. **Fariduzzaman**, Wiriadidjaja S. A Proposal on the Indonesian guidelines for the aerodynamics design of a long span bridge. Proceedings 2<sup>nd</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW II). Hongkong; 2005.

33. Svensson HS, Kovacs I. Examples of analytical aerodynamic investigations of long-span bridges. Dalam: A Larsen, editor. *Proceedings of The First International Symposium on Aerodynamics of Large Bridges*. Rotterdam: Balkema; 1992.
34. **Fariduzzaman**, Subagyo, Hasim F, Andika MG. Geometry modification for minimizing the aeroelastics effect. *Proceedings 6<sup>th</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW VI)*, Hanoi 2012.
35. **Fariduzzaman**, Andika MG. Simulasi komputasi dan sistem instrumentasi pengukuran modal model jembatan bentang panjang. *Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM)*. Serpong: LIPI; 2012.
36. Tanaka H. Similitude and modeling in bridge aerodynamics. *Proceedings of The First International Symposium on Aerodynamics of Large Bridges*, Rotterdam, 1992.
37. **Fariduzzaman**. A practical approach on the implementation of similarity rules to aeroelastics wind tunnel testing. *Proceedings International Seminar of Aerospace Science and Technology (ISAST)*, Serpong 2014.
38. Miyata T, Yokoyama K, Yasuda M, Hikami Y, Akashi Kaikyo Bridge – wind effects and full model wind tunnel tests. *Proceedings of The First International Symposium on Aerodynamics of Large Bridges*, Rotterdam 1992.
39. Irwin PA. Full aeroelastic model tests, the role of wind tunnel modeling in the prediction of wind effects on bridges. *Proceedings of The First International Symposium on Aerodynamics of Large Bridges*. Rotterdam 1992.
40. Brancaloni F, Diana G, Faccioli E, Fiammenghi G, Firth IPT, Gimsing N, Jamolkowski M, Sluszk P, Solari G, Valensise G, Vullo E. *The Messina Strait Bridge-A challenge and a dream*. Leiden: CRC Press/Balkema; 2010.
41. Tristanto L, Hardono S, Sukmara G. Kriteria penilaian model aerodinamika dalam pengujian terowongan angin. *Jurnal Jalan-Jembatan* 2016; Vol. 33 No. 2 Juli–Desember: 65–79.

42. Subagyo, **Fariduzzaman**. Pengembangan fasilitas laboratorium untuk pengujian infrastruktur. Dalam: Fariduzzaman, Pane IZ, Subagyo, Andika MG, Purabaya W, Sabrina M, editor. Bunga Rampai Pengkajian dan Penerapan Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika untuk Meningkatkan Daya Saing dan Kemandirian Bangsa dalam Industri Manufaktur, Konstruksi, Transportasi dan Hankam. Jakarta: Penerbit Trim Komunikata; 2017. 141–156.
43. **Fariduzzaman**. Perancangan sistem pengukuran respon dinamik model aeroelastik jembatan. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM) LIPI; 2003. Serpong.
44. **Fariduzzaman**. Metode analysis beban angin statik pada struktur jembatan bentang panjang. Dalam: Fariduzzaman, Pane IZ, Subagyo, Andika MG, Purabaya W, Sabrina M, editor. Bunga Rampai Pengkajian dan Penerapan Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika Untuk Meningkatkan Daya Saing dan Kemandirian Bangsa dalam Industri Manufaktur, Konstruksi, Transportasi dan Hankam. Jakarta: Penerbit Trim Komunikata; 2017: 111–122.
45. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Lavi RZ, Nasution A. Uji aeroelastik model penuh pada jembatan cable-stayed. Jurnal Teknik Sipil. 2004 April;11(2):89–103.
46. **Fariduzzaman**. Sistem akuisisi dan pengolahan data uji model penuh jembatan cable-stayed. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) 2004. Serpong: LIPI; 2004.
47. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Zuhul LR, Nasution A. Identification of vortex effect on a flexible structure. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Metrology, Physics Applications and Energy Measurement (ISMPAEM). Serpong; 2006.
48. **Fariduzzaman**. Metode pemodelan dalam analisis aeroelastik eksperimental dek jembatan bentang panjang. Prosiding Annual Meeting on Testing and Quality (AMTEQ). Serpong: SMTP LIPI; 2009.

49. **Fariduzzaman.** Uji pergerakan angin di sekitar model gedung dengan terowongan angin. *Jurnal Teknologi Lingkungan (JTL)*. 2016 Juli; 17(2):82–91.
50. Xu YL, Chan WS. Wind and structural monitoring of long span cable supported bridges with GPS. *Proceedings of The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering (APCWE-VII)*. Taipei; 2009.
51. **Fariduzzaman.** Simulasi aeroelastik dinamik model gelagar jembatan bentang panjang di terowongan angin. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia (edisi transportasi)*. 2002 Januari;3(10): 9–13.
52. **Fariduzzaman, Wiriadidjaja S.** Analisa eksperimental efek vortex pada gelagar jembatan bentang panjang. *Prosiding Seminar Teknologi untuk Negeri*. Jakarta: BPPT; 2001.
53. **Fariduzzaman.** Pengujian dinamik model jembatan dalam terowongan angin. *Prosiding Experimental and Theoretical Mechanics (ETM)*. Bandung: ITB; 1994.
54. **Fariduzzaman.** Pemodelan gelagar jembatan bentang panjang untuk simulasi efek angin di ILST. *Proceedings Quality in Research*. Jakarta: FTUI; 2000.
55. **Fariduzzaman, Asmara D.** Analisis aerodinamika efek railing dan ketinggian dek pada jembatan bentang panjang. *Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi*. Jakarta: P3TIE-BPPT; 2004.
56. **Fariduzzaman, Gunawan L.** Flutter margin determination of a longspan bridge model. *Proceedings The Fourth Pacific International Conference on Aerospace Science and Technology (PICAST 4)*. Tainan; 2000.
57. **Fariduzzaman.** Simulasi atmospheric boundary layer terrain terbuka di terowongan angin. *Prosiding Seminar Teknologi untuk Negeri Vol. II*. Jakarta: BPPT; 2004.

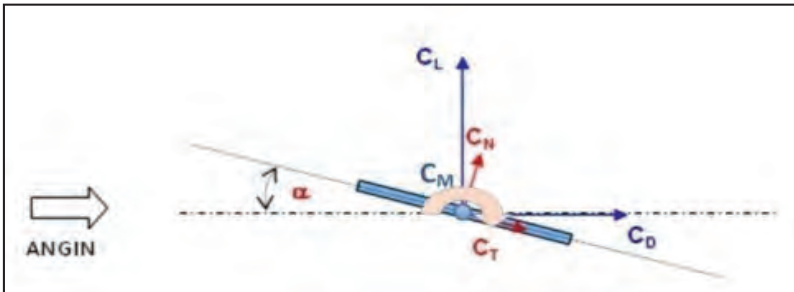
58. **Fariduzzaman.** Experiment on the effect of turbulence wind to a dynamic model of bridge deck section. Proceedings of The Fourth Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics and Astronautics, The 3rd International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics. Tainan; 2008.
59. **Fariduzzaman.** Penerapan teknologi RPC untuk *data acquisition* dan *data processing* di ILST. Prosiding Forum Ilmiah Puspiptek Vol I no. 002; 1997. Serpong.
60. **Fariduzzaman.** Analisis data angin untuk desain dan konstruksi jembatan bentang panjang. Dalam: Fariduzzaman, Pane IZ, Subagyo, Andika MG, Purabaya W, Sabrina M, editor. Bunga Rampai Pengkajian dan Penerapan Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika untuk Meningkatkan Daya Saing dan Kemandirian Bangsa dalam Industri Manufaktur, Konstruksi, Transportasi dan Hankam. Jakarta: Penerbit Trim Komunikata; 2017: 279–290.
61. **Fariduzzaman.** Pengukuran defleksi struktur model dalam uji dinamik di terowongan angin. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI; 2011. Serpong.
62. Wardlaw RL. The improvement of aerodynamic performance. Proceedings of The First International Symposium on Aerodynamics of Large Bridges; 1992. Rotterdam.
63. **Fariduzzaman,** Purabaya W. Bridge aerodynamic and comfort level standard. Proceedings 3<sup>rd</sup>. Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW III); 2006. Roorkee.

## LAMPIRAN



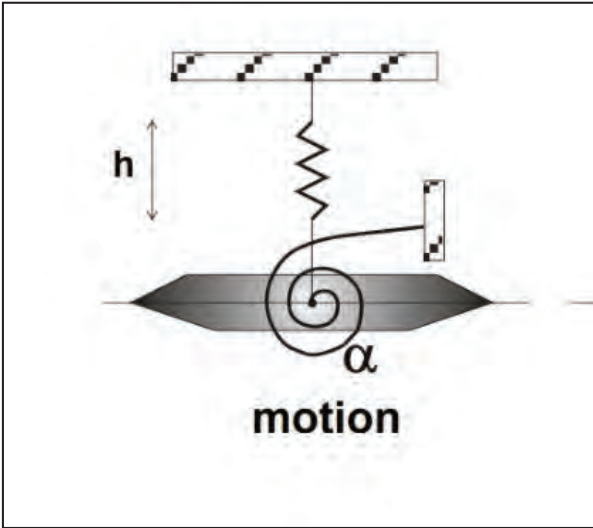
Sumber: 30 Years LAGG-BBTA3 (2019)

**Gambar 1.** Indonesian Low Speed Tunnel (ILST), LTA3-BRIN di Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan

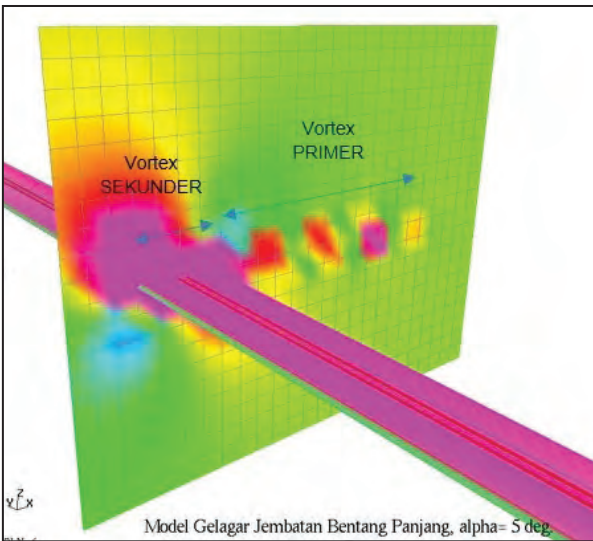


**Gambar 2.** Gaya dan Momen Aerodinamika Dek Jembatan<sup>42</sup>

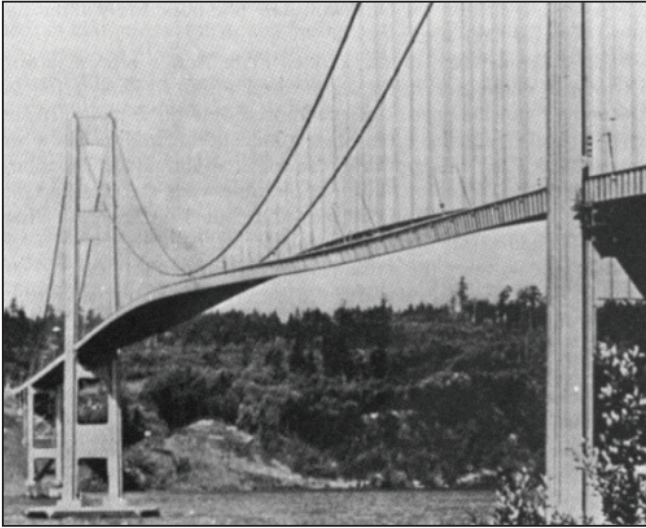




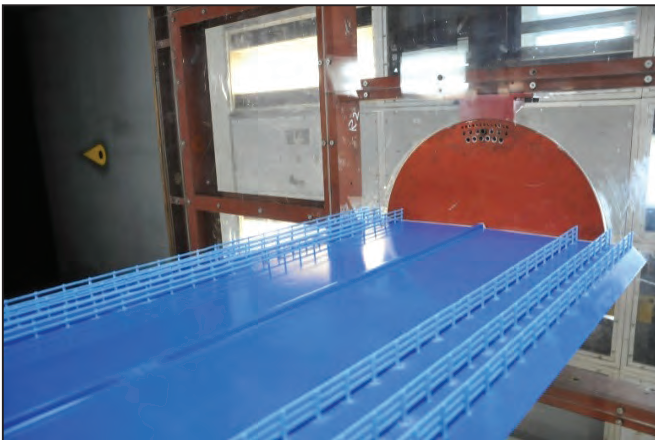
**Gambar 3.** Model Fisika Struktur Dinamik Dek Jembatan<sup>19</sup>



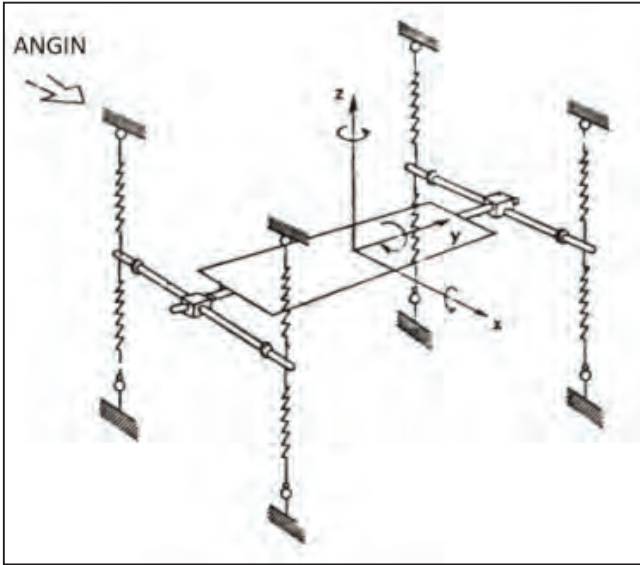
**Gambar 4.** *Vortex* Primer dan *Vortex* Sekunder<sup>19</sup>



**Gambar 5.** Fenomena Aeroelastik Jembatan Tacoma Narrow<sup>2</sup>



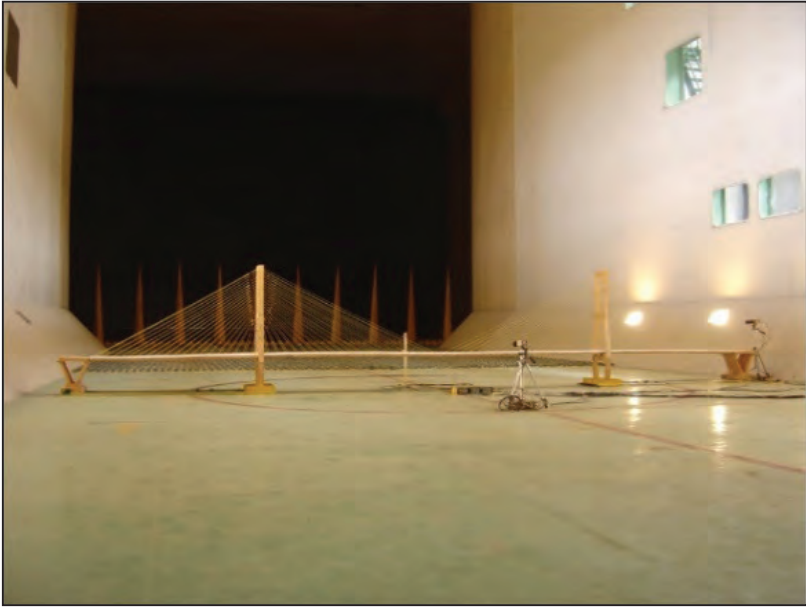
**Gambar 6.** Model Aeroelastik Seksional Dinamik Dek Jembatan (Jembatan Inari, Papua)<sup>42</sup>



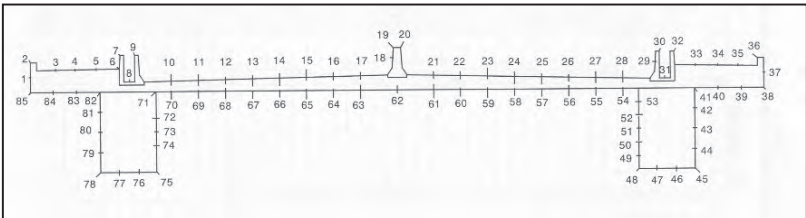
**Gambar 7.** Sketsa Mekanisme Model Seksional Dinamik Dek Jembatan<sup>20</sup>



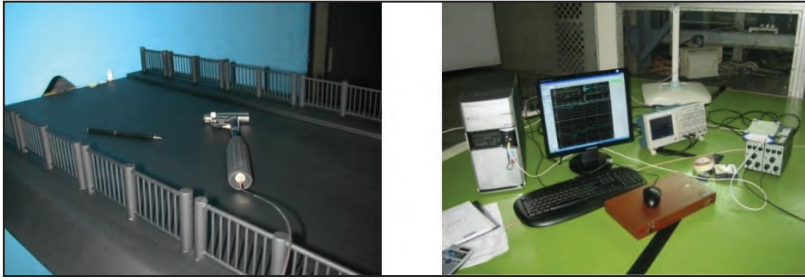
**Gambar 8.** Pengujian Model Penuh Jembatan Suramadu di Indonesian Low Speed Tunnel (ILST) LTA3-BRIN Indonesia<sup>43</sup>.



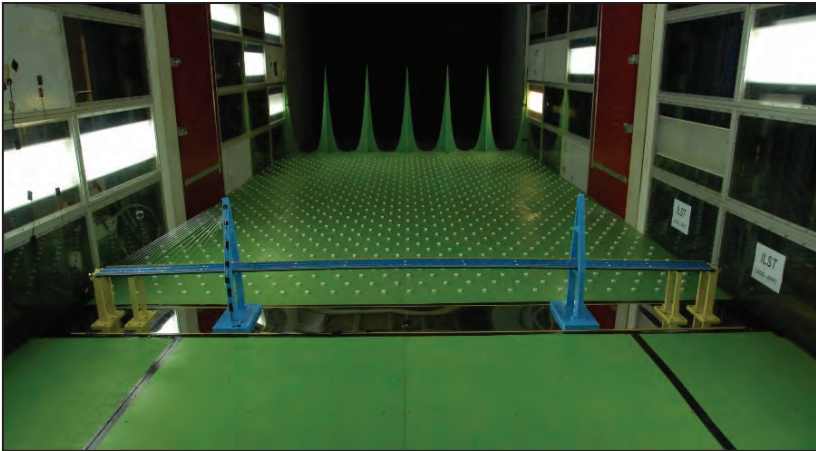
**Gambar 9.** Pengujian Model Penuh Jembatan Suramadu di FL-13 *Wind Tunnel* Institut Aerodinamika Kecepatan Rendah Tiengkong (CARDC)



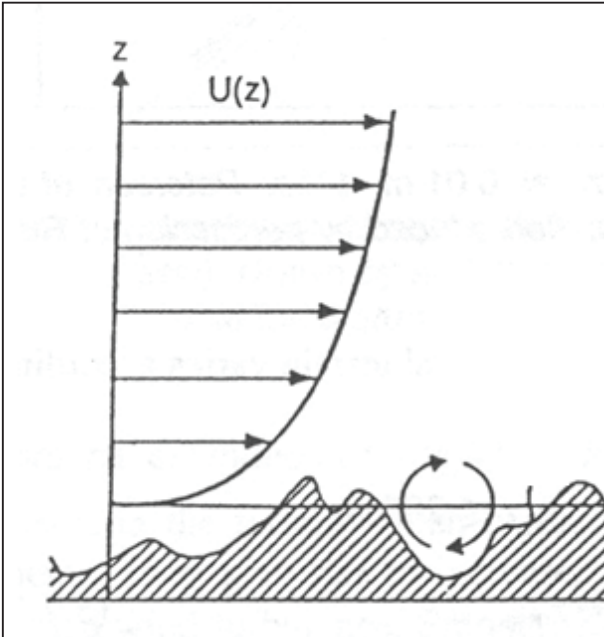
**Gambar 10.** Distribusi Lubang Tekanan Sekitar Model Dek Jembatan<sup>21</sup>



**Gambar 11.** Peralatan untuk *model tuning* menggunakan *impact hammer*<sup>33</sup>.



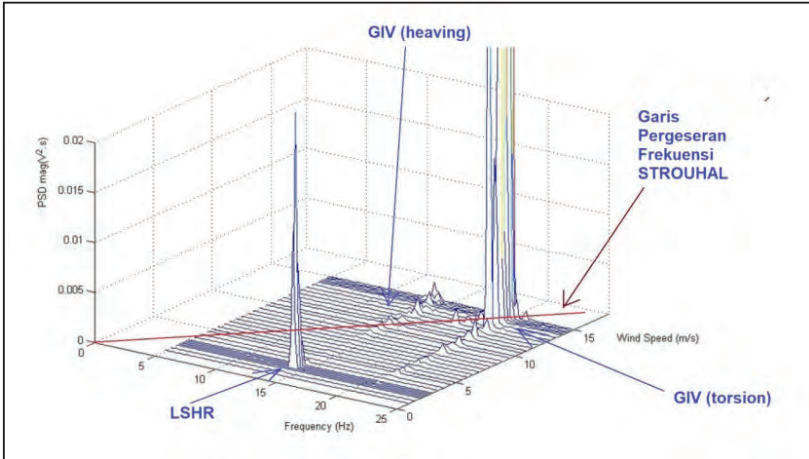
**Gambar 12.** Tipikal Model Penuh Jembatan Bentang Panjang (Model Jembatan Penajam)<sup>40</sup>



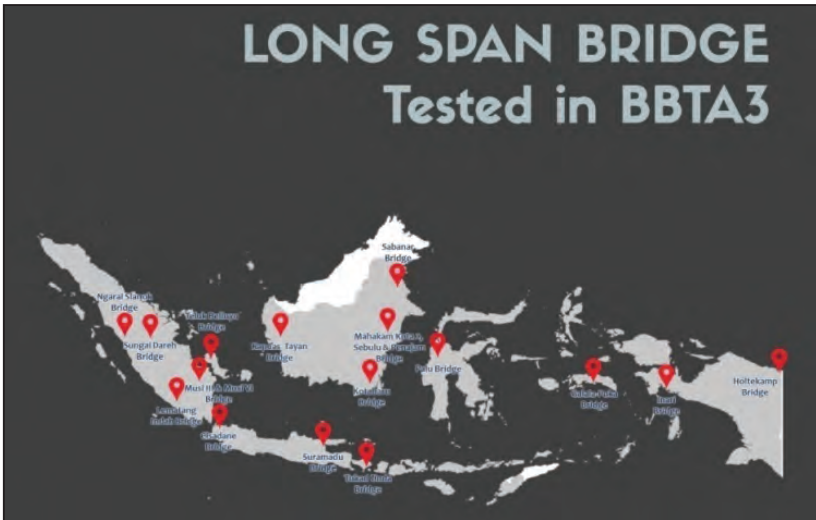
**Gambar 13.** Profil Lapis Batas Atmosfer (LBA)<sup>56</sup>



**Gambar 14.** Simulator Lapis Batas Atmosfer (LBA) di ILST<sup>56</sup>



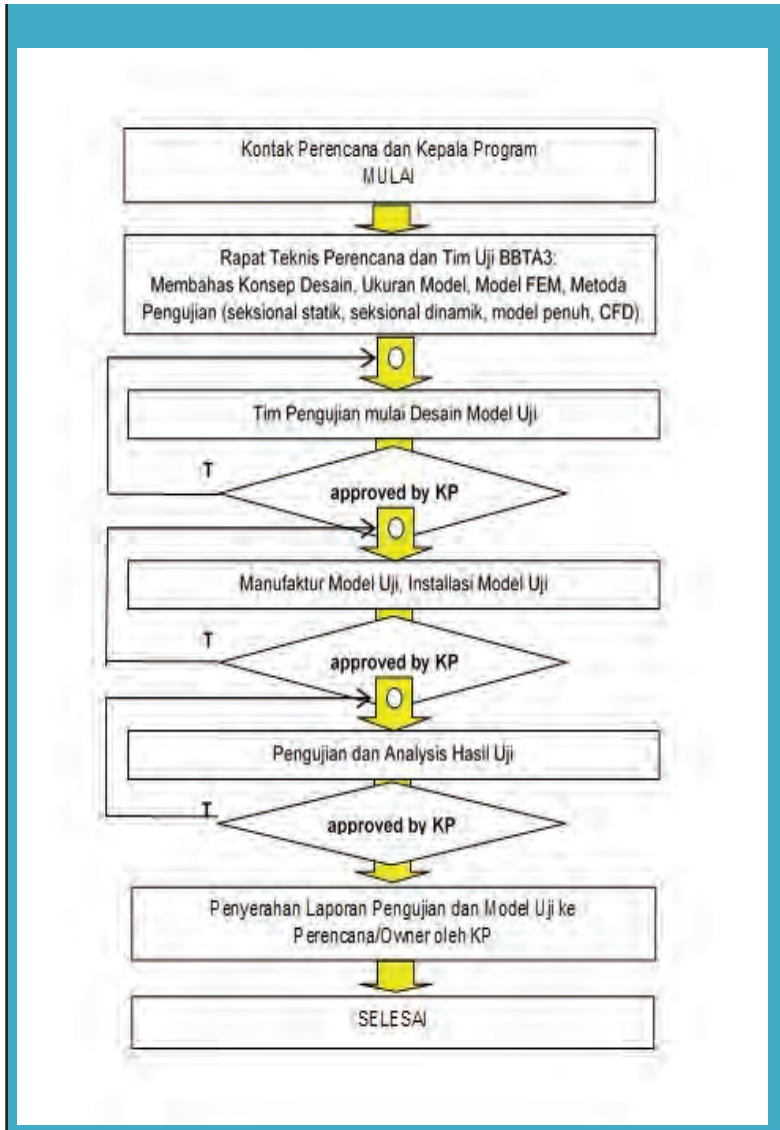
Gambar 15. Plot Kurva 3D Karakteristik Aeroelastik Jembatan Bentang Panjang<sup>21</sup>



Sumber: 30 Years LAGG-BBT3 (2019)

Gambar 16. Lokasi Beberapa Jembatan Bentang Panjang yang diuji di ILST, LTA3-BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**Gambar 17.** Alur Proses Uji Aerodinamika Jembatan Bentang Panjang



## DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

### Bagian dari buku Nasional

1. **Fariduzzaman.** Teknologi aerodinamika untuk kendaraan umum. Dalam: Fariduzzaman dkk., editor. Bunga Rampai Penguasaan Teknologi Aerodinamika untuk Penguatan Industri Nasional. Jakarta: LAGG BPPT, Penerbit Trim Komunikata; 2014:48–62.
2. **Fariduzzaman,** Sariman, Matza GA. Pengujian aerodinamika stadion olah raga di ILSST. Dalam: Fariduzzaman dkk., editor. Bunga Rampai Penguasaan Teknologi Aerodinamika untuk Penguatan Industri Nasional. Jakarta: LAGG BPPT, Penerbit Trim Komunikata; 2014: 138–144.
3. **Fariduzzaman.** Metode analysis beban angin statik pada struktur jembatan bentang panjang. Dalam: Fariduzzaman, Pane IZ, Subagyo, Andika MG, Purabaya W, Sabrina M, editor. Bunga Rampai Pengkajian dan Penerapan Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika untuk Meningkatkan Daya Saing dan Kemandirian Bangsa dalam Industri Manufaktur, Konstruksi, Transportasi dan Hankam. Jakarta: Penerbit Trim Komunikata; 2017: 111–122.
4. Subagyo, **Fariduzzaman.** Pengembangan fasilitas laboratorium untuk pengujian infrastruktur. Dalam: Fariduzzaman, Pane IZ, Subagyo, Andika MG, Purabaya W, Sabrina M, editor. Bunga Rampai Pengkajian dan Penerapan Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika untuk Meningkatkan Daya Saing dan Kemandirian Bangsa dalam Industri Manufaktur, Konstruksi, Transportasi dan Hankam. Jakarta: Penerbit Trim Komunikata; 2017: 141–156.
5. **Fariduzzaman.** Analysis data angin untuk desain dan konstruksi jembatan bentang panjang. Dalam: Fariduzzaman, Pane IZ, Subagyo, Andika MG, Purabaya W, Sabrina M, editor. Bunga Rampai Pengkajian dan Penerapan Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika untuk Meningkatkan Daya Saing dan Kemandirian Bangsa dalam Industri Manufaktur, Konstruksi, Transportasi dan Hankam. Jakarta: Penerbit Trim Komunikata; 2017: 279–290.

6. Subagyo, **Fariduzzaman**, Yudiawan FK, Khoerul A. Pengembangan laboratorium uji pendukung standarisasi *muffler* kendaraan. Dalam: Fariduzzaman, Pane IZ, Subagyo, Andika MG, Purabaya W, Sabrina M, editor. Bunga Rampai Pengkajian dan Penerapan Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika untuk Meningkatkan Daya Saing dan Kemandirian Bangsa dalam Industri Manufaktur, Konstruksi, Transportasi dan Hankam. Jakarta: Penerbit Trim Komunikata; 2017: 291–300.
7. **Fariduzzaman**. Kajian efek modifikasi struktur samping terhadap getaran induksi vortex (GIV) dek jembatan bentang panjang. Dalam: Fariduzzaman, Pane IZ, Subagyo, Andika MG, Purabaya W, Sabrina M, editor. Bunga Rampai Pengkajian dan Penerapan Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika untuk Meningkatkan Daya Saing Industri Nasional. Jakarta: Penerbit Trim Komunikata; 2018: 3–15.

### Jurnal Internasional

8. Andika MG, **Fariduzzaman**, Syariefatunisa. Vortex-induced vibrations and galloping analysis of various shapes bridge hangers by using wind tunnel test. *International Journal of Mechanical and Production Engineering (IJMPE)*. 2018;6(10): 56–61.

### Jurnal Nasional

9. **Fariduzzaman**. Simulasi aeroelastik dinamik model gelagar jembatan bentang panjang di terowongan angin. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia (edisi transportasi)*. 2002;3(10): 9–13.
10. **Fariduzzaman**. Perancangan aerodinamika dan aeroelastik fandrive terowongan angin kecepatan rendah. *Jurnal Sains dan Teknologi Aeronotika*. 2002; 3(3).
11. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Lavi RZ, Nasution A. Uji aeroelastik model penuh pada jembatan cable-stayed. *Jurnal Teknik Sipil*. 2004;11(2):89–103.
12. **Fariduzzaman**. Uji pergerakan angin di sekitar model gedung dengan terowongan angin. *Jurnal Teknologi Lingkungan (JTL)*. 2016;17(2):82–91. doi: 10.29122/jtl.v17i2.105

13. **Fariduzzaman**. Metoda uji model seksional dek sebagai dasar analisis aeroelastik jembatan bentang panjang. *Majalah Pengkajian Industri (MPI)*. 2016;10(2):71–86. doi: 10.29122/mipi.v10i2.1830.
14. **Fariduzzaman**. Kajian interaksi turbulensi angin dengan getaran induksi vortex dek jembatan bentang panjang. *Journal of Aerotechnology (JoAT)*. 2018;1(2):1–8. doi: 10.29122/joat.v1i2.2974.

### Prosiding Internasional

15. Casmara, **Fariduzzaman**. Application of wall correction on windtunnel test results in ILST. *Proceedings 25<sup>th</sup> Higher Education of Aeronautics Technology in Indonesia*; Bandung, Indonesia, 11–21 Januari 1988.
16. **Fariduzzaman**. Implementation of wall correction by means of measured boundary condition for 2D test in ILST. *Proceedings the Fifth Asian Congress of Fluid Mechanics (ACFM)*; Taejon, Korea, 10–14 Agustus 1992.
17. Adibroto A, Nasiran D, **Fariduzzaman**. Five years operational experiences with Indonesian Low Speed Tunnel (ILST). *Proceedings 18<sup>th</sup> Congress of The International Council of The Aeronautical Sciences (ICAST)*; Beijing, Republik Rakyat Tiongkok, 20–25 September 1992.
18. Modjo H, **Fariduzzaman**, Nasiran B. Research and development on flow visualization techniques at UPT-LAGG. *Proceedings Seminar on Coal Fired Boiler Research and Technology*; Serpong, Indonesia, 13–14 Mei 1994.
19. Nasiran B, **Fariduzzaman**. Visualization of fluid flow in a boiler. *Proceedings Seminar on Coal Fired Boiler Research and Technology*; Serpong, Indonesia, 13–14 Mei 1994.
20. **Fariduzzaman**, Nasiran B. Flow analysis of a boiler rear duct design. *Proceedings Seminar on Coal Fired Boiler Research and Technology*; Serpong, Indonesia, 13–14 Mei 1994.

21. **Fariduzzaman**, Modjo H. Some investigation on blockage effect of an engine model test in wind tunnel. Proceedings International Symposium on Aeronautical Science and Technology in Indonesia (ISASTI-96); Jakarta, Indonesia, 24–27 Juni 1996.
22. **Fariduzzaman**, Darmawan A. Design and implementation of an integrated information system for a testing laboratory. Proceedings International Symposium on Aeronautical Science and Technology in Indonesia (ISASTI-98); Jakarta, Indonesia. 31 Agustus–2 September 1998.
23. **Fariduzzaman**, Modjo H. Development of testing techniques by means of sting support at ILST. Proceedings International Symposium on Aeronautical Science and Technology in Indonesia (ISASTI-98); Jakarta, Indonesia. 31 Agustus–2 September 1998.
24. **Fariduzzaman**. Determining aerodynamics forces on a bluff body by means of smoke flow visualization. Proceedings The 5<sup>th</sup>. Asian Symposium on Visualization; Serpong, Indonesia, 8 Maret 1999.
25. **Fariduzzaman**. Dynamics and aerodynamics simulation of a suspension bridge deck section. Proceeding The First Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics; Jakarta, Indonesia, 18 Juli 2000.
26. **Fariduzzaman**, Gunawan L. Flutter margin determination of a longspan bridge model. Proceedings Fourth Pacific International Conference on Aerospace Science and Technology (PICAST 4); Tainan, Taiwan, 21–23 Mei 2000.
27. **Fariduzzaman**, Purabaya W, Wiriadidjaja S. Aeroelastic analysis of windtunnel fan-drive blade design. Proceedings Fourth Pacific International Conference on Aerospace Science and Technology (PICAST 4); Chenkung, Taiwan, 21–23 Mei 2000.
28. **Fariduzzaman**. Kaji eksperimental penyebaran polutan dari cerobong pabrik. Proceedings International Seminar on Climate Change on Local Environment (ISCCLE-2001); Bali, Indonesia, 24–25 Oktober 2001.

29. **Fariduzzaman**. Flow measurement technique on a ship superstructure model with helideck. Proceedings Third Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics and Astronautics; Bandung, Indonesia, 16 Desember 2002.
30. **Fariduzzaman**, Wiriadidjaja S. Towards a multipurpose low speed wind tunnel. Proceedings Third Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics and Astronautics; Bandung, Indonesia, 16 Desember 2002.
31. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Zuhul LR, Nasution A. Experimental methods on aeroelasticbridge analysis. Proceedings International Seminar on Aerospace Technology; Yogyakarta, Indonesia, 22–23 Juli 2003; 2004.
32. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Zuhul LR, Nasution A. System identification of unsteady aerodynamic coefficients from a sectional dynamic model. Proceedings Regional Conference on Aeronautical Science, Technology and Industry (RC-ASTI2004); Bandung, Indonesia, 18–19 Mei 2004.
33. **Fariduzzaman**, Wiriadidjaja S. Standards for wind effect on structures and environment in Indonesia. Proceedings 1<sup>st</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW I); Tokyo, Japan, 19–20 November 2004.
34. **Fariduzzaman**, Wiriadidjaja S. A proposal on the Indonesian guidelines for the aerodynamics design of a long span bridge. Proceedings 2<sup>nd</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW II); Hongkong, PRC, 5–6 Desember 2005.
35. **Fariduzzaman**, Purabaya W. Bridge aerodynamic and comfort level standard. Proceedings 3<sup>rd</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW III); Roorke, India, 2–3 November 2006.

36. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Zuhul LR, Nasution A. Identification of vortex effect on a flexible structure. Proceedings 3<sup>rd</sup> International Symposium on Metrology, Physics Applications and Energy Measurement (ISMPAEM-2006); Serpong, Indonesia, 19–20 September 2006.
37. **Fariduzzaman**. Wind tunnel testing of wind-sensitive structures. Proceedings 4<sup>th</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW IV); Tongji, PRC, 19–20 November 2007.
38. Hasim F, Rusyadi R, Surya WI, **Fariduzzaman**, Asrar W, Omar A, Ali JSM, Aminanda Y, Kafafy R. Flow field characteristics of the IIUM low speed wind tunnel. Proceedings The 3<sup>rd</sup> International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics (ISEM 2008); Tainan, Taiwan, 7–10 Desember 2008.
39. **Fariduzzaman**. Experiment on the effect of turbulence wind to a dynamic model of bridge deck section. Proceedings Fourth Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics and Astronautics 2008, The 3<sup>rd</sup> International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics; Tainan, Taiwan, 7–10 Desember 2008.
40. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Zuhul LR, Nasution A. Low wind speed heaving resonance. Proceedings Fourth Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics and Astronautics 2008, The 3<sup>rd</sup> International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics; Tainan, Taiwan, 7–10 Desember 2008.
41. **Fariduzzaman**, Rusyadi R, Wibisono G. A Tunnel reference system for subsonic wind tunnels. The Fourth Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics and Astronautics; Tainan, Taiwan, 7–10 Desember 2008.
42. **Fariduzzaman**. Study on bridge deck sections for Indonesian long span bridges. Proceedings 4<sup>th</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW IV); Tainan, Taiwan, 12–14 November 2009.

43. **Fariduzzaman**. Indonesia wind environment and structural standard. Proceedings 5<sup>th</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW V); Kwandong, South Korea, 21–23 Oktober 2010.
44. **Fariduzzaman**. Wind Disaster Mitigation in Indonesia. Proceedings Wind Related Disaster Risk Reduction (WRDRR); Incheon, South Korea, 24 Oktober 2010.
45. **Fariduzzaman**, Subagyo, Hasim F, Andika MG. Geometry modification for minimizing the aeroelastics effect. Proceedings 6<sup>th</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW), Hanoi, Vietnam, 12–13 November 2012.
46. **Fariduzzaman**. A practical approach on the implementation of similarity rules to aeroelastics wind tunnel testing. Proceedings International Seminar on Aerospace Science and Technology (ISAST 2014); Serpong, Indonesia, 11 November 2014.
47. Rudi WP, Almustofa AZ, Arianti E, Handyanu, Murdjito, Suntoyo, **Fariduzzaman**. Triple helical rods with gap as a passive control device for reducing fluid forces on a cylinder. Proceedings 9<sup>th</sup> International Conference on Marine Technology (MARTEC 2014); Surabaya, Indonesia, 24–26 Oktober 2014.
48. Wiriadidjaja S, Mohamad ZH, Rafie ASM, Elhadi M, **Fariduzzaman**, Hasim F. Wing-In-ground-effect craft as a potential domestic transport vehicle. Proceedings 34<sup>th</sup> AIAA Applied Aerodynamics Conference; 13–17 Juni 2016.
49. Sukamta, Guntorojati I, **Fariduzzaman**. Flutter analysis of cable stayed bridge. Procedia Engineering, The 3rd International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials (SCESCM) 2016, Vol. 171; 2017: 1173–1177.
50. Hasim F, Rusyadi R, Surya WI, **Fariduzzaman**, Asrar W, Omar A, Ali JSM, Aminanda Y, Kafafy R. The IIUM low speed wind tunnel. Proceedings of EnCon 2000, 2<sup>nd</sup> Engineering Conference on Sustainable Engineering Infrastructures Development & Management; 18–19 December 2000.

51. Andika MG, **Fariduzzaman**. Wind tunnel testing for vibration analysis of high rise building due to wind load. IOP Conference Series (Sriwijaya International Conference on Science, Engineering and Technology), Vol. 620; Palembang, Indonesia, 15–16 Oktober 2018. IOP Publishing; 2019.

## Prosiding Nasional

52. **Fariduzzaman**. Sistem pengolahan data untuk pengujian model dalam terowongan angin secara *online* komputer. Prosiding Presentasi Ilmiah BPPT, Jakarta, Indonesia, 14 Maret 1989.
53. **Fariduzzaman**, Adibroto A. Gangguan aerodinamis sistem suspensi kawat pada pengujian model di terowongan angin. Prosiding Simposium Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Rekayasa Aeronautika (SITRA'91); Bandung, Indonesia, 7–8 Mei 1991.
54. **Fariduzzaman**. Beberapa fungsi terowongan angin dalam bidang non-aeronautika. Prosiding Presentasi Ilmiah Peneliti BPPT, Jakarta, Indonesia, 7–8 Mei 1991.
55. **Fariduzzaman**. Simulasi numerik trajektori partikel. Prosiding Simposium Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Rekayasa Aeronautika (SITRA'93), 27–29 Juli 1993.
56. **Fariduzzaman**. Konsep dasar desain *software* untuk pengolahan data di terowongan angin. Prosiding Simposium Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Rekayasa Aeronautika (SITRA'93), 27–29 Juli 1993.
57. **Fariduzzaman**. Pengujian dinamik model jembatan dalam terowongan angin. Prosiding Experimental and Theoretical Mechanics (ETM'94), Bandung, Indonesia, 20–21 Desember 1994.
58. **Fariduzzaman**, Modjo H. Penerapan praktis pengolahan data *five holes probe* di ILST. Prosiding Simposium Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Rekayasa Aeronautika (SITRA'95), Serpong, Indonesia, 29–30 November 1995.



59. **Fariduzzaman.** Pengembangan metoda pengolahan data RSB untuk simulasi propulsi. Prosiding Simposium Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Rekayasa Aeronautika (SITRA'95), Serpong, Indonesia, 29–30 November 1995.
60. **Fariduzzaman.** Perancangan dan pengembangan sistem terdistribusi untuk laboratorium riset. Prosiding Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir V, Jakarta, Indonesia, 24–25 Januari 1995.
61. **Fariduzzaman.** Penerapan teknologi RPC untuk *data acquisition* dan *data processing* di ILST. Prosiding Forum Ilmiah Puspiptek. Serpong, Indonesia. Vol. I(2), 1997.
62. **Fariduzzaman.** Analisa ketidakpastian hasil pengukuran distribusi tekanan model sayap. Prosiding Seminar Nasional Fisika Terapan dan Lingkungan, Serpong, Indonesia, 8 Desember 1997.
63. **Fariduzzaman.** Kajian efek *wobbling* pada *external balance* ILST. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 25–27 Desember 1997.
64. **Fariduzzaman,** Sariman. Penerapan pengaruh konfigurasi model pada metoda koreksi *wing struts* ILST. Prosiding Association of Aerodynamics Specialist (ASA) Seminar, Bandung, Indonesia, 14–15 Juli 1998.
65. **Fariduzzaman.** Simulasi penyebaran gas buang dari cerobong asap di terowongan angin. Proceedings Quality in Research FTUI Seminar, Jakarta, Indonesia, 04–07 Agustus 1998.
66. **Fariduzzaman.** Analisa ketidakpastian sistem instrumentasi pengukur tekanan dinamik di ILST. Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 22–23 September 1998.
67. **Fariduzzaman.** Pengembangan Sistem Informasi Data Pengujian (SIDAP) ILST. Proceedings The 3rd. Workshop on Electro, Communication and Information, Bandung, Indonesia, 3–4 Maret 1999.

68. **Fariduzzaman.** Pendekatan proses terdistribusi dalam pengembangan sistem pengukuran di ILST. Proceedings The 3<sup>rd</sup>. Workshop on Electro, Communication and Information, Bandung, Indonesia. 3–4 Maret 1999.
69. **Fariduzzaman.** Pengembangan sistem pengolahan data pengujian model menara gas buang di terowongan angin. Proceedings Quality in Research FTUI Seminar, Jakarta, Indonesia. 3–6 Agustus 1999.
70. **Fariduzzaman, Wiriadidjaja S.** Pengukuran gaya dan momen propeller di terowongan angin. Prosiding Association of Aerodynamics Specialist (ASA) Seminar, Bandung, Indonesia, 12 Agustus 2000.
71. **Fariduzzaman.** Masalah stabilitas aeroelastik dan bentuk geometri dalam rancangan komponen jembatan bentang panjang. Prosiding Association of Aerodynamics Specialist (ASA) Seminar, Bandung, Indonesia, 12 Agustus 2000.
72. **Fariduzzaman, Djojodihardjo H.** Kaji aeroelastik dinamik sudu turbin angin dengan airfoil pelat tipis. Prosiding Seminar LAPAN, Pusrosat-Detekgan, Rumpin, Indonesia. November 2000.
73. **Fariduzzaman, Wiriadidjaja S.** Analisa eksperimental efek *vortex* pada gelagar jembatan bentang panjang. Prosiding Seminar tahunan BPPT 2001 Teknologi untuk Negeri, Jakarta, Indonesia, 19–20 Maret 2001.
74. **Fariduzzaman.** Pemodelan gelagar jembatan bentang panjang untuk simulasi efek angin di ILST. Proceedings Quality in Research FTUI Seminar, Jakarta, Indonesia, 22–23 Agustus 2001.
75. **Fariduzzaman.** Pengujian terowongan angin untuk analisis aliran sekitar model helipad kapal laut. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN), Rumpin, Indonesia, 8 November 2001.
76. **Fariduzzaman, Wiriadidjaja S.** Analisis aeroelastik eksperimental pada model gelagar jembatan bentang panjang. Prosiding Seminar Teknologi Untuk Negeri Vol. 1, Jakarta, Indonesia, 26–28 Maret 2002.

77. Casmara, **Fariduzzaman**. Aplikasi metoda volume hingga untuk aliran dalam *boiler-duct*. Prosiding Seminar Teknologi Untuk Negeri Vol. 1, Jakarta, Indonesia, 26–28 Maret 2002.
78. **Fariduzzaman**, Darmawan A, Novianti H. Integrasi intranet SITILA dengan Sistem Informasi Perpustakaan LAGG-BPPT. Proceedings The 3<sup>rd</sup>. Annual Meeting of The Indonesian Digital Library Network, Bandung, Indonesia, 11–12 April 2002.
79. **Fariduzzaman**. FLUTTW2D: *Software tool* untuk prediksi *flutter* pada sayap pesawat terbang. Prosiding Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XIII, Serpong, Indonesia, 3–4 Juli 2002 .
80. **Fariduzzaman**. Pengembangan sensor arah aliran LFP01 di LAGG. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 15–16 Oktober 2002.
81. **Fariduzzaman**, Widyawasta. Pengembangan sistem visualisasi aliran layar sinar laser. Prosiding Seminar Teknologi Untuk Negeri Vol.1, Jakarta, Indonesia. 20–22 Mei 2003.
82. **Fariduzzaman**. Perancangan sistem pengukuran respon dinamik model aeroelastik jembatan. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 22–23 Juli 2003.
83. **Fariduzzaman**. Uji terowongan angin untuk standardisasi perancangan *heliport*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi dan Jaminan Mutu 2003, Jakarta Indonesia. 15 Oktober 2003.
84. **Fariduzzaman**, Gunawan L, Zuhul LR, Nasution A. Pengujian terowongan angin untuk standar perancangan jembatan bentang panjang di Indonesia. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi dan Jaminan Mutu 2003, Jakarta, Indonesia.15 Oktober 2003.
85. **Fariduzzaman**. Simulasi *atmospheric boundary layer terrain* terbuka di terowongan angin. Prosiding Seminar Teknologi untuk Negeri Vol. II, Jakarta, Indonesia. 25–27 Mei 2004.

86. **Fariduzzaman**. Sistem akuisisi dan pengolahan data uji model penuh jembatan *cable-stayed*. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia. 25–26 Agustus 2004.
87. **Fariduzzaman**. Analisis ketakstabilan *flutter* pada model seksional di terowongan angin. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) VII, Serpong, Indonesia, 6 Oktober 2004.
88. **Fariduzzaman**, Dewi Asmara D. Analisis aerodinamika efek *railing* dan ketinggian dek pada jembatan bentang panjang. Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi, Jakarta, Indonesia. November 2004.
89. **Fariduzzaman**. AEROCO: *Software tool* untuk menentukan koefisien aerodinamika model jembatan bentang panjang. Prosiding Lokakarya Komputasi Dalam Sains dan Teknologi Nuklir XV, Serpong, Indonesia, 13–14 Juli 2004.
90. **Fariduzzaman**. Perancangan, konstruksi dan kalibrasi timbangan 6 komponen untuk terowongan angin LMW. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 28–29 Juni 2005.
91. **Fariduzzaman**. Pengembangan manometer digital. Prosiding Lokakarya Komputasi Dalam Sains dan Teknologi Nuklir XVII, Serpong, Indonesia, November 2006.
92. **Fariduzzaman**. Pengendalian turbulensi angin dengan static grid. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) X, Serpong, Indonesia, November 2006.
93. **Fariduzzaman**, Hasim F. Perancangan terowongan angin 0.5 x 0.5 m<sup>2</sup>. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) X, Serpong, Indonesia, November 2006.
94. **Fariduzzaman**. Kalibrasi terowongan angin LST-1. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 19– 20 September 2006.

95. **Fariduzzaman.** Uji kinerja terowongan angin untuk kalibrasi anemometer. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) XI, Serpong, Indonesia, November 2007.
96. **Fariduzzaman.** Sistem instrumentasi untuk pengujian kualitas aliran terowongan angin. Prosiding Annual Meeting on Testing and Quality (AMTEQ), Serpong, Indonesia, 22–23 Juli 2008.
97. **Fariduzzaman.** Pengembangan timbangan-luar untuk pengujian model-setengah di terowongan angin. Prosiding Annual Meeting on Testing and Quality (AMTEQ), Serpong, Indonesia, 22–23 Juli 2008.
98. **Fariduzzaman.** Sistem data hasil uji terowongan angin. Prosiding Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir (LKSTN), Serpong, Indonesia, 6 Agustus 2008.
99. **Fariduzzaman.** Metoda pemodelan dalam analisis aeroelastik eksperimental dek jembatan bentang panjang. Prosiding Annual Meeting on Testing and Quality (AMTEQ), Serpong, Indonesia, 28–29 Juli 2009.
100. **Fariduzzaman.** Sistem instrumentasi pengukur gaya aerodinamika *steady* model seksional dek jembatan. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM)LIPI, Serpong, Indonesia, 24 Juni 2009.
101. **Fariduzzaman.** Eksperimen untuk mengatasi induksi *vortex* pada struktur. Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-16, Jogjakarta, Indonesia, 27 Mei 2010.
102. **Fariduzzaman.** Analisis getaran induksi *vortex* struktur fleksibel. Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-16, Yogyakarta, Indonesia, 27 Mei 2010.
103. **Fariduzzaman.** Identifikasi resonansi oleh *vortex* pada struktur fleksibel. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) XIV, Serpong, Indonesia, 15 November 2010.

104. **Fariduzzaman.** Pengukuran angularitas aliran dengan *yawhead probe*. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) XIV, Serpong, Indonesia, 15 November 2010.
105. **Fariduzzaman.** Pengukuran gaya aerodinamika *steady model bluff body*. Prosiding Annual Meeting on Testing and Quality (AMTEQ) 2010, Serpong, Indonesia, 19–20 Oktober 2010.
106. **Fariduzzaman.** Pengukuran defleksi struktur model dalam uji dinamik di terowongan angin. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 22–23 Juni 2011.
107. **Fariduzzaman,** Sariman. Kalibrasi kecepatan angin pada seksi uji terowongan angin subsonic tinggi. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 22–23 Juni 2011.
108. **Fariduzzaman.** Analisis kinerja kipas pembangkit angin pada terowongan angin. Prosiding Seminar Nasional Fisika, Serpong Indonesia, 12–13 Juli 2011.
109. Rusjadi D, Anwar K, **Fariduzzaman.** Study awal *aircraft cabin noise*. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) XIV, November 2011.
110. **Fariduzzaman.** Metoda analysis daya hilang untuk terowongan angin jenis terbuka. Prosiding Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) XIV, November 2011.
111. **Fariduzzaman,** Andika MG. Simulasi komputasi dan sistem instrumentasi pengukuran modal model jembatan bentang panjang. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 23–24 Oktober 2012.
112. **Fariduzzaman.** Pengembangan fasilitas uji beban angin untuk dinding gedung. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 24–25 Juni 2014.

113. **Fariduzzaman**. Studi pengembangan sistem instrumentasi untuk menentukan kecepatan angin di LIWET. Prosiding Publikasi Ilmiah Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI-KIM) LIPI, Serpong, Indonesia, 24–25 Juni 2014.
114. Arianti E, Waluyo Prastianto RW, Djatmiko EB, Handayanu, Murdjito, **Fariduzzaman**. Studi eksperimental pengaruh penambahan helical rod ber-gap pada silinder rigid bertumpu fleksibel terhadap respon gerakannya. Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana (SNPS) XIV-ITS, Surabaya, Indonesia, Agustus 2014.

## DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

### Laporan Pengujian Terowongan Angin

1. **Fariduzzaman**. Penerapan koreksi pada pengujian 2D (GAW MD2). Laporan Teknis LAGG-BPPT; 1989 Juni 12.
2. Daryanto Y, Dahsyat M, **Fariduzzaman**. Vibration test of a bridge section in windtunnel. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 1991. TR-910005-U
3. **Fariduzzaman**. Laporan subsistem pengolahan data pada pengujian efek *slipstream*. Laporan Teknis LAGG-BPPT pada Pengujian JR-01 APERT, Slip-stream Test. 1995 Juli 10.
4. **Fariduzzaman**. GVT model 2D jembatan bentang panjang untuk uji terowongan. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2000 Desember 12. TR-000008-R
5. **Fariduzzaman**. Rancangan pengujian model jembatan bentang panjang dengan metoda taut-strip pada pengujian model jembatan bentang panjang dengan metoda taut-strip di LAGG-BPPT; 2001 April 9. TR-010002-R
6. **Fariduzzaman**. Laporan pengujian model jembatan bentang panjang dengan metoda taut-strip pada pengujian model jembatan bentang panjang dengan metoda taut-strip di LAGG-BPPT; 2001 April 21. TR-010006-R.
7. **Fariduzzaman**. Rancangan pengujian model kapal FPB60 Tipe A, PT PAL Indonesia di LAGG-BPPT; 2001 Oktober 29. TR-010019-R.
8. **Fariduzzaman**. Laporan pengujian model kapal FPP60 Tipe A, PT PAL Indonesia di LAGG-BPPT; 2001 November 12. TR-010020-R.
9. **Fariduzzaman**, Widyawasta, Agus L. Kalibrasi sensor vektor aliran angin untuk kualifikasi model kapal laut dan helikopter di ILST. Laporan kalibrasi LAGG-BPPT; 2002 Januari 10. TR-020001-R.



10. **Fariduzzaman.** Kalibrasi anemometer Airflow™ LCA-6000. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2002 September 23. TR-020016-R
11. **Fariduzzaman.** Load check sistem internal balance IB-846. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2002 Oktober 24. TR-020022-R.
12. **Fariduzzaman.** Rancangan pengujian model seksi-Jembatan MAHKOTA-2 Samarinda. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2003 April 15. TR-030002-R.
13. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian sectional-model Jembatan MAHKOTA-2 Samarinda. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2003 Juli 22. TR-030004-R.
14. **Fariduzzaman,** Purabaya W. Rancangan pengujian model 2D Jembatan Suramadu. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2003 Oktober 2. TR-030015-R
15. **Fariduzzaman.** Rancangan Pengujian Model 3D Jembatan Suramadu. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2003 Oktober 2. TR-030016-R
16. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian full model Jembatan Suramadu. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2004 Februari 28. TR-040001-R.
17. **Fariduzzaman.** Kalibrasi Pitot Tube UiTM-1, UiTM-2 dan Ultrasonic Velocimeter Young-M85000 di ILST. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2005 Juli 17. TR-050010-R
18. **Fariduzzaman,** Purabaya W, Yohanes A, Widyawasta. Test Report: Sectional Model of Palu Bridge (PT Waagner Biro Indonesia); 2007 Mei 20. TR-070003-R
19. **Fariduzzaman.** Rancangan pengujian sectional model Jembatan Tayan-Kapuas. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2009 Februari 26. TR-080013-R
20. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian sectional model Jembatan Tayan-Kapuas. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 26 Februari 2009. TR-080014-R
21. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian jembatan Tukad Unda di ILST. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2011 Februari 18. TR-110001-R

22. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian dan analisis CFD Jembatan Musi-3 di Indonesia Low Speed Tunnel (ILST). Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2012. TR-120012-R
23. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian model seksional statik dan dinamik Jembatan Inari. Laporan Teknis LAGG-BPPT TR-130004-R; 2013.
24. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian model dinamik dan analisis CFD Jembatan Teluk Belinyu. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2013. TR-130005-R
25. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian model seksional statik dan dinamik Jembatan Holtekam. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2013. TR-130011-R
26. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian dan analisis CFD Jembatan Penajam. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2013. TR-130014-R
27. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian terowongan angin model Roket RN-122 tahap-2 di ILST. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2018. TR-180019-R
28. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian model Roket RN-01 SS di ILST. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2019. TR-190013-R
29. **Fariduzzaman.** Laporan kajian aerodinamika model gedung menggunakan PIV di ESWT. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2020. TR-200002-R.
30. **Fariduzzaman.** Laporan pengujian terowongan angin model Rudal RN-01 SS di ILST. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2020. TR-20022-R

## Bahan Ajar

31. **Fariduzzaman.** Sistem akuisisi data terowongan angin. Buku Pegangan Kursus Singkat Teknik Pengukuran dan Akuisisi Data pada Sistem Aliran Fluida dan Perpindahan Kalor, PAU-UGM; 1993.
32. **Fariduzzaman.** Sistem pengolahan data terowongan angin. Buku Pegangan Kursus Singkat Teknik Pengukuran dan Akuisisi Data pada Sistem Aliran Fluida dan Perpindahan Kalor, PAU-UGM; 1993.

33. **Fariduzzaman.** Instrumentation system for low speed wind tunnel testing. Buku Pegangan Man Power Development Training (MPDT) for Korean Aerospace Research Institute (KARI); 1997.
34. **Fariduzzaman.** Data Processing (DP) System for low speed wind tunnel testing. Buku Pegangan Man Power Development Training (MPDT) for Korean Aerospace Research Institute (KARI); 1997.
35. **Fariduzzaman.** Data acquisition (DA) system for low speed tunnel testing. Buku Pegangan Man Power Development Training (MPDT) for Korean Aerospace Research Institute (KARI); 1997.
36. **Fariduzzaman.** Measurement techniques. Buku Pegangan Man Power Development Training (MPDT) for Universiti Teknologi Malaysia (UTM) LAGG-BPPT MA-020001-U; 2002.

### **Panduan/Standard Operation Procedures (SOP)/Manual**

37. **Fariduzzaman.** General procedures for model testing in ILST. Manual LAGG-BPPT, MA-970001-R; 1997 Juli 10.
38. **Fariduzzaman.** TRIS: Suatu sistem basis data pengelolaan informasi kegiatan di TRIE UPT-LAGG. Laporan Teknis LAGG; 1998 Juli 27. TR-980016-R.
39. **Fariduzzaman.** Perancangan terinci laser sheet untuk Sistem Instrumentasi Visualisasi Aliran (SIVA) di ILST. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2002 September 25. TR-020018-R.
40. **Fariduzzaman.** Rancangan sistem data terowongan angin LIWT. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2005 Mei 2. TR-050002-R.
41. **Fariduzzaman, Sariman, Asmara D.** Konsep dasar perancangan LAGG Industrial Wind Tunnel (LIWT). Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2004 November 3. TR-030011-R.
42. **Fariduzzaman.** Perancangan dan pembuatan turbulent generator jenis grid. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2005 Juli 5. TR-050007-R.

43. **Fariduzzaman.** Teknik simulasi angin atmosfer permukaan Bumi di terowongan angin. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2003 Desember 30. TR-030013-U.
44. **Fariduzzaman.** Perancangan generator lapis batas atmosfer (LBA) untuk terowongan angin arsitektural UiTM Shah Alam, Malaysia. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2005 Desember 5. TR-050008-R.
45. **Fariduzzaman.** Desain dan kalibrasi timbangan luar (external balance) 3 komponen untuk terowongan angin. Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2007. TN-070001-R.
46. **Fariduzzaman.** Pengukuran turbulensi angin, dengan sistem hotwire constant temperature anemometer (CTA). Laporan Teknis LAGG-BPPT; 2008. TN-080012-U.
47. **Fariduzzaman.** LAGG-BWTF (*Building Wall Test Facility*): dasar teori, metoda analysis dan standar prosedur operasi pengujian (SPOP); 2013. TN-130001-R.

### Skripsi/Thesis/Disertasi

48. **Fariduzzaman.** Gas glow discharge for material deposition [skripsi]. [Bandung]: Institut Teknologi Bandung (ITB); 1986.
49. **Fariduzzaman.** Design and implementation of a particle tracking software [tesis]. [London]: Thames Polytechnic (Greenwich University), United Kingdom; 1990.
50. **Fariduzzaman.** Aeroelastic experimental study of a longspan bridge model using taut-strip method [tesis]. [Bandung]: Institut Teknologi Bandung (ITB); 2001.
51. **Fariduzzaman.** Geometry and turbulence effect on vortex induced vibration of long span bridge deck [disertasi]. [Bandung]: Institut Teknologi Bandung (ITB); 2007.

### Makalah Seminar/Tidak Terbit

52. **Fariduzzaman.** Uji aeroelastik jembatan bentang panjang. Seminar Sehari Rancangan Pembangunan Jembatan Musi-3 Palembang; 2004 Maret 4.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Data Pribadi

- Nama lengkap : Dr. Drs. Fariduzzaman, M.Sc., M.T.
- Tempat, tgl lahir : Cianjur, 17 Mei 1961
- Anak ke : Satu dari delapan bersaudara
- Jenis kelamin : Laki-laki
- Nama Ayah Kandung : Almarhum Sulaiman Azhari, BA.
- Nama Ibu Kandung : Almarhumah Tjitjah Aisah
- Nama Istri : Dra. Palupi Dwi Purwariningsih, Apt.
- Jumlah Anak : 3 (tiga) orang
- Nama Anak : 1. Muhammad Abdurrafi  
2. Hanifah Fuadi  
3. Fisilmy Hayati
- Nama Instansi : Direktorat Pengelolaan Laboratorium,  
Fasilitas Riset, Kawasan Sains dan  
Teknologi (DPLFRKST) – Badan  
Riset dan Inovasi Nasional
- Judul Orasi : Inovasi Teknologi Pengujian  
Aerodinamika dan Aeroelastika untuk  
Rancang Bangun Jembatan Bentang  
Panjang
- Bidang Kepakaran : Aerodinamika
- SK Pangkat Terakhir : Keppres RI No. 73/K Tahun 2012
- SK Peneliti Utama : Keppres RI No. 3/M Tahun 2022

## B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Tempat	Tahun Lulus
1	SD	Negeri Pacet	Cianjur	1973
2	SMP	Negeri Cipanas	Cianjur	1976
3	SMA	Negeri Cianjur	Cianjur	1980
4	S-1	Institut Teknologi Bandung (ITB)	Bandung	1986
5	S-2	Thames Polytechnic (Greenwich Univ.)	London, Inggris	1991
6	S-2	Institut Teknologi Bandung (ITB)	Bandung	1999
7	S-3	Institut Teknologi Bandung (ITB)	Bandung	2007

## C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1	External Balance Operation	Serpong	1987
2	Teknik Pengukuran dan Akuisisi Data pada Sistem Aliran Fluida dan Perpindahan Kalor	Yogyakarta	1993
3	Visualization of Flow around A Building Model and in a Boiler Duct Model, Master of LDV and its Application Technique through actual velocity Measurement of a Nozzle Flow	Nagasaki, Jepang	1988
4	Vibration and Acoustic Analysis	Amsterdam, Belanda	1991
5	Realtime and Operating System	Singapura	1993
6	APROPOS Data Processing	N.O. Polder, Belanda	1994
7	Wind Tunnel Instrumentation and Hot Wire Technique	N.O. Polder, Belanda	2002

No.	Nama Pelatihan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
8	Pengelolaan Laboratorium Pengujian / Kalibrasi berdasarkan SNI ISO/IEC 17025:2008	Serpong	2010
9	Pelatihan Technopreneurship Untuk Para Peneliti/Perekayasa di Kawasan PUSPIPTEK	Serpong	2011
10	Bimbingan Draft Paten	Serpong	2010
11	Keterampilan Pemasaran Untuk Litbang	Serpong	2013
12	4 Channel Streamline CTA	Serpong	2013
13	Application of Rapid Prototype Machine (RPM) Dimension Elite	Serpong	2010
14	LaVision 2D PIV System	Serpong	2017

#### D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1	Kepala Sub. Bid. TRIE	UPT LAGG-BPPT	1991–1999
2	Kepala Kelompok Non- Aeronautik Balai PPTAGG	UPT LAGG-BPPT	2002–2009
3	Kepala Balai PPTAGG	UPT LAGG-BPPT	2009–2014
4	Kepala UPT-LAGG	UPT LAGG-BPPT	2014–2016
5	Kepala BBTA3	BBTA3-BPPT	2016–2018

#### E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Asisten Peneliti Madya	01-05-1993
2	Ajun Peneliti Muda	01-11-1996
3	Ajun Peneliti Madya	01-09-1998
4	Peneliti Muda	01-03-2000
5	Peneliti Madya	01-08-2002

<b>No.</b>	<b>Jenjang Jabatan</b>	<b>TMT Jabatan</b>
6.	Ahli Peneliti Muda	01-02-2005
7.	Peneliti Utama Bidang Teknik Ruang Angkasa IV/d	01-06-2008
8.	Peneliti Utama Bidang Teknik Ruang Angkasa IV/e	01-07-2011
9.	Peneliti Utama Maintenance-1	01-07-2013
10.	Peneliti Utama Maintenance-2	01-07-2015
11.	Peneliti Utama Maintenance-3	01-07-2017

#### **F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional**

<b>No.</b>	<b>Jabatan/Pekerjaan</b>	<b>Pemberi Tugas</b>	<b>Tahun</b>
1.	Anggota Tim KKJTJ yang Pertama	Kementerian PUPR Ditjen Bina Marga	2015–2017
2.	Anggota Tim KKJTJ yang Kedua	Kementerian PUPR Ditjen Bina Marga	2017–sekarang

#### **G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah**

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
1	25 <sup>th</sup> . Higher Education of Aeronautics Technology in INDONESIA	Pemakalah	Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia	1988
2	Simposium Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Rekayasa Aeronautika (SITRA '91)	Pemakalah	Nusantara Aircraft Industry (IPTN), Indonesia	1991
3	Presentasi Ilmiah Peneliti BPPT	Pemakalah	BPPT, Jakarta, Indonesia	1989



<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
4	High Vacuum Technology, Components and Process System	Pemakalah	BATAN, Serpong, Indonesia	1991
5	Presentasi Ilmiah Peneliti BPPT	Pemakalah	BPPT, Jakarta, Indonesia	1991
6	Presentasi Ilmiah Peneliti BPPT	Pemakalah	BPPT, Jakarta, Indonesia	1991
7	Presentasi Ilmiah Peneliti BPPT	Pemakalah	BPPT, Jakarta, Indonesia	1991
8	The Fifth Asian Congress of Fluid Mechanics (5 <sup>th</sup> . ACFM)	Pemakalah	Taejon, Korea	1992
9	18 <sup>th</sup> . Congress of The International Council of The Aeronautical Sciences (ICAST)	Pemakalah	AIAA, Beijing, Republik Rakyat Tiongkok	1992
10	Simposium Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Rekayasa Aeronautika (SITRA '93)	Pemakalah	IPTN, Bandung, Indonesia	1993
11	Seminar on Coal Fired Boiler Research and Technology	Pemakalah	Puspiptek-Serpong, Indonesia	1994
12	Seminar on Coal Fired Boiler Research and Technology	Pemakalah	Puspiptek-Serpong, Indonesia	1994
13	Experimental and Theoretical Mechanics (ETM '94)	Pemakalah	Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia	1994

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
14	Simposium Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Rekayasa Aeronautika  (SITRA '95)	Pemakalah	Puspiptek, Serpong, Indonesia	1995
15	Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir V	Pemakalah	BATAN, Pasar Jumat, Jakarta, Indonesia	1995
16	The 2nd. International Symposium on Aeronautical Science and Technology in Indonesia (ISASTI)	Pemakalah	IAAI, Jakarta, Indonesia	1996
17	First International Symposium on Strain-Gauge Balance	Peserta	NASA Langley, Hampton, Virginia, Ameriks Serikat	1996
18	Presentasi Ilmiah: Forum Ilmiah Puspiptek (FI-Puspiptek)	Pemakalah	FI-Puspiptek, Serpong, Indonesia	1996
19	Seminar Nasional Fisika Terapan dan Lingkungan'97	Pemakalah	Puspiptek, Serpong, Indonesia	1997
20	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM'97)	Pemakalah	KIM-LIPI, Serpong, Indonesia	1997
21	Association of Aerodynamics Specialist (ASA) Seminar	Pemakalah	Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia	1998

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
22	International Symposium on Advanced and Aerospace Science and Technology in Indonesia (ISASTI'98)	Pemakalah	IAAI, Jakarta, Indonesia	1998
23	Quality in Research FTUI Seminar '98	Pemakalah	Engineering Faculty, Universitas Indonesia (UI), Jakarta, Indonesia	1998
24	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM'98)	Pemakalah	KIM-LIPI, Serpong, Indonesia	1998
25	The 3 <sup>rd</sup> . Workshop on Electro, Communication and Information (WECI III)	Pemakalah	Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia	1999
26	The 5 <sup>th</sup> . Asian Symposium on Visualization	Pemakalah	Applied Physic Research Center, Serpong, Indonesia	1999
27	Quality in Research FTUI Seminar '99	Pemakalah	Engineering Faculty, Universitas Indonesia (UI), Jakarta, Indonesia	1999

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
28	The First Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics	Pemakalah	BPPT, Jakarta, Indonesia	2000
29	Association of Aerodynamics Specialist (ASA) Seminar 2000	Pemakalah	IPTN, Bandung, Indonesia	2000
30	LAPAN 2000 Seminar	Pemakalah	LAPAN, Rumpin, Indonesia	2000
31	The Fourth Pacific International Conference on Aerospace Science and Technology  (PICAST 4)	Pemakalah	Chenkung University, Taiwan	2000
32	Seminar tahunan BPPT 2001: Teknologi untuk Negeri	Pemakalah	BPPT, Jakarta, Indonesia	2001
33	Quality in Research FTUI Seminar'2001	Pemakalah	Engineering Faculty, Universitas Indonesia (UI), Jakarta, Indonesia	2001
34	International Seminar on Climate Change on Local Environment (ISCCLE-2001)	Pemakalah	Universitas Udayana, Bali, Indonesia	2001

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
35	Association of Aerodynamics Specialist (ASA) Seminar 2001	Pemakalah	PT Dirgantara Indonesia, Bandung, Indonesia	2001
36	Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) 2001	Pemakalah	Dewan Riset Nasional, Puspiptek, Serpong, Indonesia	2001
37	Seminar tahunan BPPT 2002: Teknologi untuk Negeri	Pemakalah	BPPT, Jakarta, Indonesia	2002
38	Seminar dan Pertemuan Tahunan Ketiga Indonesia DLN	Pemakalah	Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia	2002
39	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM'2002)	Pemakalah	KIM-LIPI, Serpong, Indonesia	2002
40	Lokakarya Komputasi Dalam Sains dan Teknologi Nuklir XIII	Pemakalah	Perasten BATAN, Pasar jumat, Jakarta, Indonesia	2002
41	The Third Indonesia-Taiwan Workshop on Science, Technology and Industry of Aeronautics and Astronautics	Pemakalah	Hotel Jayakarta, Bandung, Indonesia	2002
42	Seminar tahunan BPPT 2003:Teknologi untuk Negeri	Pemakalah	BPPT Jakarta, Indonesia	2003

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
43	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM'2003)	Pemakalah	KIM-LIPI, Serpong, Indonesia	2003
44	Presentasi dan Pertemuan Ilmiah 2003, Badan Standarisasi Nasional	Pemakalah	BSN, Manggala Wanabakti, Jakarta, Indonesia	2003
45	International Seminar on Aerospace Technology 2003	Pemakalah	Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia	2003
46	Regional Conference on Aeronautical Science, Technology and Industry (RC-ASTI2004)	Pemakalah	Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia	2004
47	Seminar Sehari "Rancangan Pembangunan Jembatan Musi-3 Palembang"	Pemakalah	Dinas PU Bina Marga Prop. Sumsel, Palembang, Indonesia	2004
48	Seminar tahunan BPPT 2004:Teknologi untuk Negeri	Pemakalah	BPPT Jakarta, Indonesia	2004
49	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM'2004)	Pemakalah	KIM-LIPI, Puspiptek, Serpong, Indonesia	2004

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
50	Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) 2004	Pemakalah	DRN, Puspipstek, Serpong, Indonesia	2004
51	1 <sup>st</sup> . Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW I) 2004	Pemakalah	Tokyo Polytechnic University, Jepang	2004
52	Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XV	Pemakalah	BATAN, Jakarta, Indonesia	2004
53	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM'2005)	Pemakalah	KIM-LIPI, PUSPIPTEK, Serpong, Indonesia	2005
54	2 <sup>nd</sup> . Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW II) 2005	Pemakalah	The Hongkong University of Science and Technology	2005
55	Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XVII	Pemakalah	BATAN, Pasar Jumat, Jakarta	2006
56	Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) 2004	Pemakalah	LAPAN, Puspipstek, Rumpin, Indonesia	2006

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
57	SATA 2006 Conference, Turkiye	Pemakalah	Istanbul dan Angkara, Turki	2006
58	3 <sup>rd</sup> . Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia- Pacific Economies (APEC-WW III) 2006	Pemakalah	Indian Society for Wind Engineering, Indian Institute of Technology Roorkee, India	2006
59	The 3 <sup>rd</sup> . International Symposium on Metrology, Physics Applications and Energy Measurement ISMPAEM-2006	Pemakalah	Serpong, Puspipetek, Indonesia	2006
60	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM'2006)	Pemakalah	KIM-LIPI, Puspipetek, Indonesia	2006
61	The 4 <sup>th</sup> Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia- Pacific Economies (APEC-WW IV) 2007	Pemakalah	Tongji University, Shanghai, Republik Rakyat Tiongkok	2007
62	Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN-XI) 2007	Pemakalah	LAPAN, Puspipetek, Rumpin, Indonesia	2007



<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
63	Annual Meeting on Testing and Quality (AMTEQ) 2008	Pemakalah	Graha Widya Bakti, Puspipstek, Indonesia	2008
64	Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir (LKSTN) 2008	Pemakalah	Graha Widya Bakti, Puspipstek, Indonesia	2008
65	International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics (ISEM) 2008/Indo-Taiwan 2008	Pemakalah	Chenkung University, Tainan, Taiwan	2008
66	Annual Meeting on Testing and Quality (AMTEQ) 2009	Pemakalah	Graha Widya Bakti, Puspipstek, Indonesia	2009
67	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM) 2009	Pemakalah	Graha Widya Bakti, Puspipstek, Indonesia	2009
68	The 4 <sup>th</sup> Asia-Pacific Economies Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications (APEC-WWIV) 2009	Pemakalah	Tamkang University, Taipei, Taiwan	2009

Buku ini tidak diperjualbelikan.

<b>No.</b>	<b>Nama Kegiatan</b>	<b>Peran</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Tahun</b>
69	Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-16	Pemakalah	Fak. Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia	2010
70	Workshop Aerodinamika Otomotif	Pemakalah	Graha Widya Bhakti Puspipstek, UPT-LAGG, Indonesia	2010
71	The 5 <sup>th</sup> . Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW V) 2010	Pemakalah	Kwandong University, Korea Selatan	2010
72	Wind Related Disaster Risk Reduction (WRDRR)	Pemakalah	IG-WRDRR, Incheon, Korea Selatan	2010
73	Seminar Nasional IPTEK Dirgantara (SIPTEKGAN) XIV - 2010	Pemakalah	LAPAN, Puspipstek, Serpong, Indonesia	2010
74	Annual Meeting on Testing and Quality (AMTEQ) 2010	Pemakalah	Puslit SMTP-LIPI, Puspipstek, Serpong, Indonesia	2010
75	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM2011)	Pemakalah	Puspipstek, Serpong, Indonesia	2011

No.	Nama Kegiatan	Peran	Penyelenggara	Tahun
76	Seminar Nasional Fisika (SNF 2011)	Pemakalah	Puslit Fisika-LIPI, Serpong, Indonesia	2011
77	Seminar Nasional IPTEK Dirgantara XIV-2011	Pemakalah	Puspiptek, Serpong, Indonesia	2011
78	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM 2012)	Pemakalah	Puspiptek, Serpong, Indonesia	2012
79	6 <sup>th</sup> . Workshop on Regional Harmonization of Wind Loading and Wind Environmental Specifications in Asia-Pacific Economies (APEC-WW) 2012	Pemakalah	Vietnam Institute for Building Science and Technology (IBST), Hanoi, Vietnam	2012
80	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah KIM (PPI-KIM 2014)	Pemakalah	Hotel Grand Sahid Jakarta, Indonesia	2014

#### H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Jabatan	Majalah/Prosiding	Tahun
1.	Mitra Bestari	Jurnal Meteorologi dan Geofisika	2013
2.	Anggota Redaksi	Majalah Ilmiah Pengkajian Industri (MIPI)	2016–2019
3.	International Editorial Board	Majalah Ilmiah Pengkajian Industri (MIPI)	2020

## I. Karya Tulis Ilmiah

<b>No.</b>	<b>Kualifikasi Penulis</b>	<b>Jumlah</b>
1.	Penulis Tunggal	67
2.	Penulis bersama Penulis lainnya	47
	Total	114

<b>No.</b>	<b>Kualifikasi Bahasa</b>	<b>Jumlah</b>
1.	Bahasa Indonesia	77
2.	Bahasa Inggris	37
	Total	114

<b>No.</b>	<b>Kualifikasi Publikasi</b>	<b>Jumlah</b>
1.	Buku dan Bagian dari Buku	7
2.	Jurnal Internasional	1
3.	Jurnal Nasional	6
4.	Prosiding Internasional	37
5.	Prosiding Nasional	63
	Total	114

## J. Pembinaan Kader Ilmiah

<b>No.</b>	<b>Nama</b>	<b>PT/Universitas</b>	<b>Peran/Tugas</b>	<b>Tahun</b>
1.	Hadyan Hafizh	Program Magister S-2 ITB Bandung	Penguji Sidang Tesis	2011
2.	Angga Dwi Saputra	Program Magister S-2 ITB Bandung	Penguji Sidang Tesis	2021
3.	Sayuti Syamsuar	Program Doktor S-3 ITS Surabaya	Penguji Sidang Disertasi	2018
4.	Yusron Feriadi	Program Doktor S-3 ITB Bandung	Pembimbing	2021

### **K. Organisasi Profesi Ilmiah**

<b>No.</b>	<b>Jabatan</b>	<b>Nama Organisasi</b>	<b>Tahun</b>
1	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia/ Perhimpunan Periset Indonesia	2021

### **L. Tanda Penghargaan**

<b>No</b>	<b>Nama Penghargaan</b>	<b>Pemberi Penghargaan</b>	<b>Tahun</b>
1	Satyalancana Wirakarya	Presiden RI	2004
2	Satyalancana Karya Satya X Tahun	Presiden RI	1999
3	Satyalancana Karya Satya XX Tahun	Presiden RI	2007
4	Satyalancana Karya Satya XXX Tahun	Presiden RI	2017



Diterbitkan oleh:  
**Penerbit BRIN**  
**Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah**  
Gedung BJ Habibie, Jln. M.H. Thamrin No. 8,  
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,  
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340  
Whatsapp: 0811-8612-369  
*E-mail:* penerbit@brin.go.id  
*Website:* penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.697



ISBN 978-623-8052-08-0



9 786238 052080

Buku ini tidak diperjualbelikan.