

PROSIDING **KoNTEKs. 15**

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-15

**THE CONSTRUCTION INDUSTRY RECOVER,
REBUILD & RENEW IN THE PANDEMIC ERA**

A BLENDED CONFERENCE

**GEDUNG HENRICUS CONSTANT UNIKA SOEGIJAPRANATA
SEMARANG, 21 - 22 OKTOBER 2021**



EDITOR: HERMAWAN

DIDUKUNG:



BMPTSSI



Indonesia

PROSIDING

KoNTeKs . 15

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-15

THE CONSTRUCTION INDUSTRY RECOVER,
REBUILD & RENEW IN THE PANDEMIC ERA



EDITOR: HERMAWAN

A BLENDED CONFERENCE
GEDUNG HENRICUS CONSTANT UNIKA SOEGIJAPRANATA SEMARANG
SEMARANG, 21 - 22 OKTOBER 2021

ISBN: 978-623-7635-91-8



PRAKATA EDITOR

Pandemi Covid-19 merupakan bencana peradaban yang mengakibatkan terjadinya multitude krisis. Sebelum kemunculan Covid-19, negara Indonesia sebenarnya tengah bergulat dengan krisis kepemimpinan, krisis birokrasi, krisis partai politik, krisis, pendidikan, krisis guru dan krisis banjir (Sindhunata, 2020). Ironisnya, kemunculan covid-19 seolah memperparah keadaan ini. Akibat pandemi, bangsa dan negara Indonesia nyatanya harus berjuang untuk keluar krisis yang menghantam pelbagai sektor vital dari kehidupan masyarakat seperti ekonomi, sosial, politik, agama dan kebudayaan.

Namun demikian, berhadapan dengan krisis yang terjadi tersebut, pemerintah dan seluruh masyarakat Indonesia terus berjuang agar kembali pulih dari keadaan yang tidak mudah. Menariknya, di tengah usaha membebaskan negara Indonesia dari belenggu krisis akibat pandemi tersebut, selalu saja ada pihak yang berjuang untuk melakukan inovasi lewat kreativitas yang tidak diragukan lagi. Berkat kreativitas dan terobosan yang mereka lakukan, negara Indonesia nyatanya mendapat bantuan konstruktif di dalam usaha mengatasi krisis yang muncul akibat pandemi.

Pada KoNTeKS-15 ini, para ilmuwan, akademisi, dan insinyur teknik sipil merupakan tokoh-tokoh hebat yang terlibat secara sungguh di dalam usaha mengatasi krisis yang muncul akibat pandemi. Sehingga, dapat dikatakan bahwa mereka merupakan salah satu pilar penyangga vital dan secara militan mendedikasikan tenaga dan pikiran mereka bagi kemajuan negara Indonesia. Salah satu bukti nyata yang dapat diperlihatkan yaitu mengenai keterlibatan para ilmuwan untuk menemukan vaksin Covid-19 lewat kajian saintifik. Tentu dalam konteks ini, sulit dibayangkan bagaimana penanganan pandemi tidak melibatkan peran dari para ilmuwan.

Untuk itu, supaya kompetensi dan kualitas pekerjaan dari para ilmuwan, akademisi dan insinyur teknik sipil tetap terjaga, maka dibutuhkan satu forum khusus yang dapat menjadi ruang kreativitas yang baik dan positif. Oleh karena itu, Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTeKS) merupakan forum akademik yang menyediakan ruang eksploratif bagi usaha peningkatan kualitas dan kompetensi dari para ilmuwan, akademisi dan insinyur teknik sipil. Atas dasar itu, KoNTeKS ke-15 pada tahun 2021 yang dilaksanakan di Universitas Katolik Soegijapranata Semarang menyediakan ruang dialog, agar para ilmuwan, akademisi, insinyur teknik sipil, serta pendidik dan pelaku industri jasa dapat bertukar ide dan gagasan aktual melalui karya akademik.

Kiranya melalui karya akademik yang disusun ke dalam prosiding KoNTeKS ke-15 tahun 2021 ini dapat merefleksikan dan memberikan arah perkembangan pengetahuan, teknologi, dan pendidikan teknik sipil di masa yang akan datang. Bahkan kegiatan KoNTeKS ke-15 tahun 2021 diharapkan juga dapat menjadi sarana pengembangan pengetahuan para ilmuwan, akademisi, dan insinyur teknik sipil Indonesia dalam menanggapi masalah-masalah yang ada dan sesuai dengan bidang dan keahliannya seperti Rekayasa Geoteknik, Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Keairan, Rekayasa Transportasi, Material, Rekayasa Struktur, dan Manajemen dan Rekayasa Konstruksi. Secara lebih khusus, kiranya melalui kegiatan KoNTeKS ke-15, ada pihak yang semakin tergerak untuk berpartisipasi menyumbangkan ide dan gagasan konstruktif yang tentunya berguna bagi dunia teknik sipil di Indonesia dan bangsa Indonesia.

KONSORSIUM PENYELENGGARA



UNIKA SOEGIJAPRANATA



UAJY



USAkti



UNTAR



UNS



ITENAS



UNUD

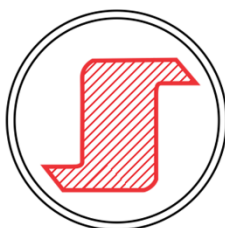


UNSYIAH



UPH

DIDUKUNG OLEH



BMPTTSSI
Badan Musyawarah
Pendidikan Tinggi Teknik Sipil
Seluruh Indonesia

fib
CEB • FIP
Indonesia



Sie Perlengkapan

- Ir. D. Budi Setiyadi, MT (Unika Soegijapranata)
- Ir, Yohanes Yuli M., MT (Unika Soegijapranata)
- G. Agung Triandi (Unika Soegijapranata)
- Taufiq Hidayat (Unika Soegijapranata)
- Benny Ardhi Nugroho (Unika Soegijapranata)
- Sia William Benedict (Unika Soegijapranata)
- Francesco Gian Aprian Atmaja (Unika Soegijapranata)

Sie Publikasi

- Ir. Widija Suseno, MT. (Unika Soegijapranata)
- Drs. Ir. Djoko Setijowarno, MT. (Unika Soegijapranata)
- Albertus Noventa Dana C, SE. (Unika Soegijapranata)
- Albertus Bayu Novanto (Unika Soegijapranata)
- Memory Rafi Fadhil Zaki (Unika Soegijapranata)
- Margaretha Januasni J. M. (Unika Soegijapranata)

Sie Zoom & Recording

- Gabriel Jose P G., ST., MT. (Unika Soegijapranata)
- Daniel Hartono, ST. (Unika Soegijapranata)
- Andre Dohan (Unika Soegijapranata)
- Wisnu Setiaji (Unika Soegijapranata)
- Vincentius Oliviananda L. (Unika Soegijapranata)

Sie Pendaftaran & Sertifikat

- Ir. David Widiyanto, MT. (Unika Soegijapranata)
- Dimas Diktta, ST. (Unika Soegijapranata)
- Diah Woro Tremiarwati, A.Md. (Unika Soegijapranata)
- Christoper Aditya Cahya D. (Unika Soegijapranata)
- Fidelis Claudio P. (Unika Soegijapranata)

Sie Designer

- Luthfi Nindyapradana (Unika Soegijapranata)
- Mochamad Ravi Grentino (Unika Soegijapranata)
- Sindu Alfisam (Unika Soegijapranata)
- Gerardi Armanupraja (Unika Soegijapranata)

Sie Konsumsi

- Fiona Indah Yurisaputri M. (Unika Soegijapranata)
- Adinda Adelia Puspita Asri (Unika Soegijapranata)
- Adinda Maharani Fachryan N. (Unika Soegijapranata)
- Marzelina Eka Ayu (Unika Soegijapranata)
- Renata Efonny Loitian G. (Unika Soegijapranata)



Sie Sponsorship

- Bryan Brama R, ST., M.Min.Res (Unika Soegijapranata)
- Michell Adiputra Wijaya (Unika Soegijapranata)
- Avin Ananta Paranindya (Unika Soegijapranata)
- Venchent May Alo (Unika Soegijapranata)

Sie Komite Ilmiah

- Ir. AY. Harijanto Setiawan, M.Eng., Ph.D. (UAJY)
- Ferianto Raharjo, S.T., M.T. (UAJY)

Reviewer

- Prof. Dr. Ir. A.M. Ade Lisantono, M.Eng
- Prof. Ir. Leksmono Suryo Putranto, MT, Ph.D
- Dr. Eng. Fitri Suciaty, Ssi, Msi
- Dr. Ir. Djoko Suwarno, Msi
- Dr. Ir. Muttaqin, ST., MT.
- Dr. (Cand). Ir. Henny Wiyanto, MT.
- Dr. Ir. Dewa Ketut Sudarsana, MT.
- Dr. Ir. Rintis Hadiani, MT.
- Dr. Ir. Dwi Prasetyanto, MT.
- Dr. Ir. Herman, MT.
- Dr. Ir. J. Dwijoko Ansusantom, MT.
- Dr. Renni Anggraini, ST, M.Eng
- Dr. I Nyoman Aribudiman, ST, MT.
- Dr. Mawiti Infantri Yekti, ST, MT.
- Dr. Endah Safitri, ST., MT.
- Dr. Bambang Setiawan, ST., MT
- Dr. Fajar Sri Handayani, ST., MT
- Dr. Muhammad Fauzi, ST., MT
- Dr. Darmawan Pontan, S.T., M.T.
- Dr. Aksan Kawanda, S.T., M.T.
- Dr. Ir. Hermawan, ST., MT.
- Dr. Yuki Achmad Yakin, MT.
- Dr. Widodo Kushartomo
- Dr. Wati Asriningsih Pranoto
- Vienti Hadsari, ST, M.Eng, MECRES, Ph.D
- Ir. Peter F. Kaming, M.Eng, Ph.D
- Budi Yulianto, ST, MSc, Ph.D
- Gede Pringgana, ST., MT, Ph.D
- Nurisra, ST, MT
- Yessi Nirwana Kurniadi, Ph.D



FEATURED PRESENTATION
&
PEMBICARA KUNCI





Prof. Po-Han Chen

Prof. Po-Han Chen saat ini adalah Profesor di Department of Building, Civil, and Environmental Engineering di Concordia University, Montreal, Canada dan pada waktu yang sama juga sebagai Profesor di Department of Civil Engineering di National Taiwan University.

Prof. Po-Han Chen secara penuh waktu menjadi bagian dari National Taiwan University sejak Oktober 2009 hingga Juli 2021, serta menjadi bagian dari Faculty of School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University, Singapore dari September 2001 hingga September 2009. Prof. Po-Han Chen telah menerbitkan sekitar 200 artikel akademik dan minat dipenelitiannya meliputi *Building Information Modeling (BIM)*, *green building and sustainable facilities*, *image processing and recognition*, *optimization of construction processes*, *IT applications in construction*, dan *project management*.

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian Prof. Po-Han Chen difokuskan pada *integration of building information modeling (BIM)* dan *green building certification systems*, termasuk U.S.A's LEED dan Taiwan's EEWH, begitu juga dengan *AR/VR/MR and blockchain applications in construction*. Prof. Po-Han Chen juga terlibat dalam pengembangan *green and sustainable Facility Information Modeling (FIM) system* untuk industri semikonduktor di Taiwan.

Prof. Po-Han Chen menerima gelar sarjana dari National Taiwan University pada tahun 1994 dan gelar master serta gelar Ph.D. di Purdue University pada tahun 1999 dan 2001 secara berurutan.



Prof. Dr. Eng. Yusak Octavius Susilo, S.T., M.T.

Prof. Dr. Eng. Yusak Octavius Susilo, S.T., M.T. adalah guru besar atau full professor untuk bidang analisis dan kebijakan transportasi di KTH Royal Institute of Technology Swedia. Lahir di Cirebon tahun 1976 dibesarkan di Bandung dan menempuh Pendidikan S1 di Universitas Kristen Maranatha pada tahun 1994 – 1998. Kemudian mendapatkan magister di Rekayasa Transportasi ITB 1998 – 2000.

Lalu melanjutkan studinya di Kyoto University di Jepang pada bidang Engineering dan Travel Behaviour Analysis pada tahun 2002 – 2005. Setelah lulus dari Jepang beliau memutuskan kembali ke Indonesia. Tetapi nasib berkata lain dan pada tahun 2006 beliau bekerja sebagai Postdoctoral Research Fellow di Delft University of Technology dan dari sini mengantarkan beliau untuk menjadi dosen di Bristol University di Inggris. Tidak lama setelah itu, beliau memutuskan untuk berpindah ke Swedia sebagai dosen di KTH Royal Institute of Technology dan tinggal di Swedia sampai sekarang dan pada tahun 2016, beliau dipromosikan menjadi guru besar

Pengalaman Profesi

- 2019 – Sekarang** Austrian Federal Ministry (BMK) Endowed Professorship in Digitalization and Automation in Transport and Mobility System
- 2011 – 2019** Full Professor in Transport Analysis and Policy
- 2007 – 2011** Senior Lecturer in Transport and Spatial Planning
- 2006 – 2007** Postdoctoral Research Fellow
- 2005 – 2006** Traffic Engineer
- 2000 – 2002** Transport Engineer and System Analyst
- 1997 – 2002** Part-time Lecturer
- 1999** Graduate Research Assistant

Penelitian

- Smart Mobility Hubs as Game Changers in Transport, as a part of a consortium for the JPI-Urban Europe: Urban Accessibility dan Connectivity (with total project value 2.1 million Euro)
- Digitalization and Automation in Transport and Mobility System, Austrian Federal Ministry in Innovation, Transport and Technology (3.03 million euro)
- Novel Decision Support tool for Evaluating Strategic Big Data investments in Transport and Intelligent Mobility Services (NOESIS, Horizon2020, with total project value 1.2 million Euro)



Publikasi

Beliau telah menerbitkan lebih dari 100 major international peer-reviewed (ISI) di jurnal artikel dan beliau memiliki h-index scopus 27 kemudian ada 140 makalah konferensi peer-reviewed dengan prosiding, lebih dari 20 buku dengan 13 sebagai penulis utama dan 10 laporan proyek yang didanai secara eksternal dan sejumlah presentasi baik science atau public yang populer yang dipublikasi baik melalui koran maupun radio.



Prof. Dr. Ir. Puti Farida Marzuki

Pendidikan dan Pelatihan

- 2012 Programme for Leadership in University Management, Temasek Foundation - NUS, Singapore.
- 1986 Docteur Ingenieur, Ecole Nationale des Ponts et Chaussees (ENPC), Paris, France.
- 1984 Diplome d'Etudes Approfondies (DEA), Ecole Nationale des Ponts et Chaussees (ENPC), Paris, France.
- 1983 Certificat d'Etudes Superieures (CES), Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE), Lyon, France.
- 1979 Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.

Pengalaman Mengajar

- Professor in Construction Management, Institut Teknologi Bandung (ITB), 2012 to present.
Teach: Engineering Systems, Construction Management, Quality Management in Construction, Risk Management in Construction Projects
- Associate Professor, Assistant Professor, Lecturer, Institut Teknologi Bandung (ITB), 1981-2011. Teach: Operations Research, Concrete Technology, Systems Analysis, Wood Construction, Management

Penelitian

- Behavior of Cement Based Materials at Early Ages
- Project Delivery Systems in Infrastructure Development
- Quality Management in Construction Projects
- Risk Management of Joint Ventures in Indonesian Construction Projects
- Carbon Footprint Model of Concrete High Rise Building Construction
- Interface Problems in Construction Projects
- Promoting Design Build Project Delivery Method in Indonesian Construction Projects



Pengalaman Administrasi di Universitas

- 2015–2019 Senior Advisor to the Rector of ITB
- 2010–2015 Vice Rector of Finance, Planning, and Development, ITB
- 2006–2010 Dean - Faculty of Civil & Environmental Engineering, ITB
- 2004–2005 Dean - Faculty of Civil Engineering & Planning, ITB
- 2001–2004 Vice Dean II – Faculty of Civil Engineering & Planning, ITB
- 1998–2000 Head – Laboratory of Computation, Department of Civil Engineering, ITB
- 1996–1998 Secretary – Department of Civil Engineering, ITB

Penghargaan Akademik

- 2020 Penghargaan Bidang Pengembangan Institusi, ITB
- 2016 35 Years of Service, ITB
- 2015 Ganesha Wira Adi Utama (Vice Rector), ITB
- 2011 Satyalencana Karya Satya XXX, Republic of Indonesia
- 2011 Ganesha Wira Adi Utama (Dean – Faculty of Civil & Environmental Engineering), ITB
- 2010 25 Years of Service, ITB
- 2007 Satyalencana Karya Satya XX, Republic of Indonesia
- 2007 Ganesha Wira Adi Utama (Dean – Faculty of Civil Engineering & Planning), ITB
- 1997 Satyalencana Karya Satya X, Republic of Indonesia

Publikasi

- Marzuki, P. F.**, Hestiyani, and Sunaryo, I. (2012), Factors Affecting Job Satisfaction of Workers in Indonesian Construction Companies, *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 18, Issue 3 (2012). Published by: Taylor & Francis, www.tandf.co/journals/journal.asp
- Ellizar, E., Susilowati, F., and **Marzuki, P. F.** (2012), Total Quality Management and Actual Workmanship Quality of Major Indonesian Contractors, in *Research Development and Practice in Structural Engineering and Construction (Proceedings of The First Australasia and Southeast Asia Conference in Structural Engineering and Construction – ASEA-SEC-1, Perth, 28 Nov – 2 Dec 2012)*, ISBN: 978-981-08-7920-4 :: doi: 10.3850/978-981-08-7920-4_Q-1-0162, Research Publishing Services, Singapore.
- Marzuki, P. F.** (2013), Manajemen Konstruksi: Mewujudkan Fasilitas Terbangun Berkualitas untuk Kemajuan Bangsa, Pidato Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung, Majelis Guru Besar ITB, ISBN 978-602-8468-65-7.
- Marzuki, P. F.** and Wisridani, M. (2013), Quality Cost in Indonesian Construction Projects, *The Second International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment (SIBE2013)*, 19-20 November 2013, Bandung, Indonesia.
- Tamin, R. Z., **Marzuki, P. F.**, Shahab, F., Wdiasanti, I., Oktavianus, A. (2013), A Survey on Indonesian Construction Consultancy Services (Strategic Issues and Recommendations to Improve Competitiveness), *The Second International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment (SIBE2013)*, 19-20 November 2013, Bandung, Indonesia.
- Lumeno, S., **Marzuki, P. F.**, Tamin, R. Z., Sunaryo, I. (2014), International Joint Operation Organizational Structure Designs of Infrastructure Construction Projects, in “Sustainable Solutions in Structural Engineering and Construction”, Editors:



Chantawarangul, K, Suanpaga, W., Yazdani, S., Vimonsatit, V., Singh, A, ISEC Press USA.
ISBN: 978-0-9960437-0-0.

Marzuki, P.F., Wisridani, M. (2014), Identifying Contractors' Planned Quality Costs in Indonesian Construction Projects, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, Vol. 46, No. 4, December 2014.

Marzuki, P.F., Nurdini, A., Ellizar, E., Meifrinaldi (2014), Architectural Works Workmanship Quality Control Framework for Indonesian Construction Projects, in "55 Tahun ITB Membangun Negeri: From Research to Community Services 2014, Increasing the Global Competitiveness of the Nation", LPPM-ITB, ISBN: 978-602-1221-01-3, pp 150-152. <http://www.lppm.itb.ac.id>.

Tamin, R.Z, **Marzuki, P.F.,** Shahab, F., Widiasanti, I., Oktavianus, A. (2015), Improving Indonesian Consulting Services, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, Vol. 47, No. 2, May 2015.

Hermawan, **Marzuki, P.F.,** Abduh, M., Driejana, R. (2015), Identification of Source Factors of Carbon Dioxide (CO₂) Emissions in Concreting of Reinforced Concrete, The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5), Surabaya, Indonesia, 2015, *Procedia Engineering* 125 (2015) 692-698, Elsevier.

Marzuki, P.F., Perwitasari, D., Tamin, R. (2015), Subcontracting Management in an EPC Project: A Case Study of Delay Risks, in "Implementing Innovative Ideas in Structural Engineering and Project Management", Editors: Saha, S., Zhang, Y.X., Yazdani, S., Singh, A, ISEC Press, USA. ISBN: 978-0-9960437-1-7.

Tamin, R.Z, **Marzuki, P.F.,** Shahab, F., Widiasanti, I., Oktavianus, A. (2015), Improving Indonesian Consulting Services, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, Vol. 47, No. 2, May 2015.

Hermawan, **Marzuki, P.F.,** Abduh, M., Driejana, R. (2015), Identification of Source Factors of Carbon Dioxide (CO₂) Emissions in Concreting of Reinforced Concrete, The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5), Surabaya, Indonesia, 2015, *Procedia Engineering* 125 (2015) 692-698, Elsevier.

Marzuki, P.F., Perwitasari, D., Tamin, R. Z. (2015), Subcontracting Management in an EPC Project: A Case Study of Delay Risks, in "Implementing Innovative Ideas in Structural Engineering and Project Management", Editors: Saha, S., Zhang, Y.X., Yazdani, S., Singh, A, ISEC Press, USA. ISBN: 978-0-9960437-1-7.

Tamin, R.Z, Tamin, A.Z, **Marzuki, P.F.** (2016), Kontrak Kerja Berbasis Kinerja dan Evaluasi Penerapan pada Jalan Nasional, *Jurnal HPJI*, Vol. 2, No. 2, 121-131, Juli 2016, Jakarta.

Hermawan, **Marzuki, P.F.,** Abduh, M., Driejana, R. (2017), The Sustainable Infrastructure Through the Construction Supply Chain Carbon Footprint Approach, *Procedia Engineering* 171 (2017) 312-322, Elsevier.

Marzuki, P.F. and Tamin R. Z. (2017), Challenges of Design-Build Method Implementation in Public Works Project Delivery, in "Resilient Structures and Sustainable Construction", Eds. Pellicer et al., ISBN: 978-0-9960437-4-8, Proceedings of the Ninth International Structural Engineering and Construction Conference, Valencia, Spain, July 24-29, 2017.

Tamin, R. Z, Mahani, I., **Marzuki, P.F.,** Supported Build Operate Transfer Effectiveness Analysis to Improve Financial Feasibility of Toll Roads in Indonesia, *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, Vol. 3, No. 2, July 2017, ISSN 2407-9170.

Widiasanti, I., Tamin, R. Z, **Marzuki, P.F.,** Wiratmaja, I.I. (2018), Development of Civil Engineers' Certification System Evaluation Model, 3rd Annual Applied Science and



Engineering Conference (AASEC 2018), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 434 (2018) 012196, IOP Publishing, doi: 10.1088/1757-899X/434/1/012196.

Marzuki, P.F., Oktavianus, A., Regina, A., Hasiholan, B., Meifrinaldi (2019), Interface Problems in Change Order-Challenged Projects, Journal of Construction in Developing Countries, 24(2), 1-22, 2019.

Bukit, I.N.M, Marzuki, P.F., Tamin, R.Z, Meifrinaldi (2019), Stakeholders Interaction Framework of Utilities Development In and Adjacent to the Public Right of Way in Indonesia, The 2nd International Conference on Green Civil and Environmental Engineering, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 669 (2019) 012009, IOP Publishing, doi:19.1088/1757-899X/669/1/012009.

Putri, K.N.R., Marzuki, P.F. (2020), Model of Land Acquisition Productivity Performance for TollRoad Projects in Indonesia, CIVENSE, Civil and Environmental Science Journal, Vol. III, No. 02, pp. 083-093, 2020.



Belajar dari Masa Pandemi Covid 19: *Unknown-Unknowns* sebagai Sumber Risiko Tidak Teridentifikasi dan Penyebab Disrupsi Proyek Konstruksi Infrastruktur

Puti Farida Marzuki¹

¹Kelompok Keahlian Manajemen dan Rekayasa Konstruksi
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung

ABSTRAK

Risiko yang tidak teridentifikasi, yang juga dikenal sebagai *unknown unknowns*, biasanya tidak masuk di dalam lingkup manajemen risiko. Masa pandemi Covid-19 telah memberikan pelajaran kepada pengelolaan proyek konstruksi infrastruktur bahwa risiko seperti ini harus semakin diwaspadai karena potensinya untuk mengakibatkan disrupsi pada proyek yang bersangkutan. Kolaborasi yang baik dan transparansi di antara para pelaku proyek yang terkena dampak risiko ini merupakan cara yang efektif untuk mencari solusinya. Manajemen proyek harus berusaha untuk mengubah sebanyak mungkin *unknown unknown* menjadi *known unknown* pada proyek-proyek yang akan datang dengan adanya dokumentasi yang baik dari pengalaman menghadapinya.

Kata-kata kunci: ketidakpastian, manajemen risiko, produktivitas proyek

1. PENDAHULUAN: PERSPEKTIF RISIKO DALAM PROYEK KONSTRUKSI INFRASTRUKTUR

Sehubungan dengan karakteristiknya, yang antara lain meliputi proses yang kompleks, memakan waktu panjang, melibatkan beragam pihak, dan adanya pengaruh dari faktor-faktor eksternal yang tidak seluruhnya dapat dikendalikan, proyek konstruksi infrastruktur selalu menghadapi tantangan perubahan dan ketidakpastian pencapaian objektifnya, baik dalam aspek waktu penyelesaian, biaya, maupun kualitasnya. Ketidakpastian bersumber dari tidak dikuasainya secara sempurna informasi, terutama yang diperlukan di dalam pengambilan keputusan yang berorientasi kepada ekspektasi tercapainya *output* dan *outcome* proyek pada masa yang akan datang. Pengambilan keputusan merupakan hal yang secara intensif dilakukan di dalam proyek konstruksi infrastruktur. Ketidakpastian ini selanjutnya menjadi risiko yang harus dihadapi oleh setiap proyek pembangunan infrastruktur sehubungan dengan *output* dan *outcome* keputusan yang menjadi objektif dari penyelenggaraan proyek. Lingkup ketidakpastian di dalam suatu proyek konstruksi sangat luas dan sebagian besar aktivitas manajemen proyek ditujukan untuk mengelola ketidakpastian ini sejak awal sampai akhir *project life cycle*. Pengelolaan ini lebih spesifik disebut dengan manajemen risiko. Bagian yang sangat penting dari manajemen risiko adalah mengenal sumber risiko tersebut sehingga dapat dilakukan respon yang tepat. Risiko yang tidak direspon dengan baik karena keterbatasan kemampuan pengelolaannya pada akhirnya dapat berakibat terjadinya disrupsi proyek yang bersangkutan yang terutama ditandai dengan menurunnya secara tajam produktivitas pekerjaan. Namun demikian, ada sumber risiko yang sangat sulit untuk diidentifikasi karena sama sekali tidak terduga dan belum pernah dihadapi sebelumnya. Inilah yang disebut dengan '*unknown-unknowns*'. Pandemi Covid-19 dapat dikatakan merupakan salah satu contoh dari '*unknown-unknowns*' tersebut yang telah membuat kita sadar akan keberadaan sumber risiko ini dan berusaha untuk siap meresponnya.

2. *UNKNOWN-UNKNOWN* SEBAGAI SUMBER RISIKO DI DALAM PROYEK KONSTRUKSI INFRASTRUKTUR

Objektif manajemen risiko di dalam proyek konstruksi infrastruktur, seperti juga pada proyek-proyek lainnya, adalah meningkatkan probabilitas dan dampak dari *events* yang positif dan mengurangi probabilitas dan dampak dari *events* yang negatif. Kim (2012) menyatakan bahwa risiko yang tidak teridentifikasi, yang juga dikenal sebagai '*unknown unknowns*' biasanya berada di luar lingkup manajemen risiko. Sebagian besar '*unknown unknowns*' dianggap tidak mungkin diidentifikasi atau dibayangkan sebelum *event* yang bersangkutan terjadi.



Usaha untuk mengenal sifat risiko atau ketidakpastian yang sulit terdeteksi telah dilakukan sejak lama. Istilah *'unknown unknowns'* dipopulerkan pada tahun 2002 oleh Donald Rumsfeld, Menteri Pertahanan Amerika Serikat pada masa yang lalu. Sejak itu, mulai digunakan *'quadrants of knowledge'*, untuk memahami dan menjelaskan sifat risiko. Risiko diklasifikasikan berdasarkan tingkat pengetahuan (*knowledge*) mengenai terjadinya *risk event* (*known* atau *unknown*) dan tingkat pengetahuan mengenai dampaknya (*known* atau *unknown*), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.

More	Knowledge about occurrence	<p>Known Unknowns</p> <p>We know there are things we can't predict</p> <p><i>Do research to decrease the amount of uncertainty; try to capture as assumptions and create contingency for others</i></p>	<p>Known Knowns</p> <p>Things we are certain of</p> <p><i>You should share and be transparent; capture as assumptions</i></p>
	Less	<p>Unknown Unknowns</p> <p>We don't know what we don't know</p> <p><i>Experiment more and these will become known unknowns for future projects</i></p>	<p>Unknown Knowns</p> <p>Other's know but you don't know</p> <p><i>Other's should share and be transparent; capture as assumptions</i></p>
		Knowledge about impact	
		Less	More

Gambar 1. *Quadrants of knowledge* untuk memahami risiko
(Sumber: Veritas Total Solutions, CTRM Project Management Done Right)

Dengan demikian klasifikasi risiko dapat dijelaskan sebagai berikut:

- *Known knowns*. Mencakup hal-hal yang kita ketahui dan fahami, misalnya kenaikan biaya material konstruksi. Jadi *known knowns* bukan merupakan risiko melainkan permasalahan yang perlu ditangani yang merupakan bagian dari lingkup proyek
- *Known unknowns*. Risiko yang dapat diidentifikasi tetapi dampaknya tidak dapat dikuatifikasi secara akurat. Risiko klasik seperti ini pada dasarnya sudah disadari oleh para manajer proyek, serta biasanya sudah tercantum di dalam *codes* dan *standards*.
- *Unknown knowns*. Mencakup fakta-fakta tersembunyi yang mungkin telah diketahui oleh pihak-pihak tertentu namun tidak diketahui oleh manajer proyek.
- *Unknown unknowns*. Risiko yang tidak dapat diperkirakan. Manajer risiko tidak mengetahui keberadaan risiko ini.

Di dalam proyek konstruksi, manajer proyek pada umumnya berusaha untuk memaksimalkan *known knowns* dengan mendeteksi sebanyak mungkin fakta-fakta yang tersembunyi atau *unknown knowns*. Namun demikian, tidak seluruh risiko dapat diidentifikasi, dan risiko yang tidak teridentifikasi akan tetap menjadi *unknown unknowns* sampai *risk event* yang bersangkutan terjadi. *Risk event* tersebut sering disebut sebagai *Black Swan event*. Di dalam manajemen risiko, *Black Swan event* dihubungkan dengan *unknown risks* yang diperkenalkan oleh Taleb (2007) yang berpendapat bahwa *events* seperti ini tidak mungkin diprediksi akibat kelangkaannya, namun memiliki konsekuensi sangat parah.

3. **UNKNOWN UNKNOWNS** DAN POTENSINYA SEBAGAI PENYEBAB DISRUPSI DALAM PROYEK KONSTRUKSI

Menurut Hillson (2005), walaupun manajemen risiko proyek berfungsi sebagai radar untuk melihat ke depan, adalah tidak mungkin untuk mengidentifikasi seluruh risiko sebelum terjadi, antara lain karena hal-hal berikut: a) Beberapa risiko secara inheren tidak dapat diketahui; b) Beberapa risiko tergantung dari waktu; c) Beberapa



pengelolaan tenaga kerja, dampak keterlambatan material, sub-kontraktor dan rantai pasok, manajemen risiko dan asuransi, pencegahan terjadinya *claim*, atau pengelolaan *claim*, serta proses perselisihan.

Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Kementerian PUPR di dalam konferensi persnya pada tanggal 12 Juni 2020 menyampaikan beberapa dampak tersebut terhadap penyelenggaraan jasa konstruksi (Kompas.com, 2020):

- a. Pemotongan, perubahan, atau realokasi dan *refocusing* anggaran pelaksanaan proyek-proyek Kementerian PUPR untuk penanganan dampak Covid-19. Besarnya anggaran Kementerian PUPR yang dipotong untuk penanganan Covid-19 ialah sebesar Rp 44,5 triliun dari total Rp 120 triliun.
- b. Keterlambatan penyelesaian proyek. Diperlukan strategi khusus untuk mengatasi dampak ini.
- c. Proyek-proyek konstruksi yang sedang berjalan terkendala dalam proses mobilisasi dan ketersediaan tenaga kerja atau material atau peralatan. Untuk mengatasi terjadinya perlambatan penyelesaian proyek dilakukan penghentian pekerjaan sementara apabila proyek itu terletak di zona merah.
- d. Peningkatan biaya pelaksanaan proyek. Status PSBB dan *physical distancing* berpengaruh kepada mobilisasi material, peralatan, dan tenaga kerja yang akhirnya menyebabkan peningkatan biaya proyek.

Kontraktor mengkonfirmasi kondisi keterlambatan penyelesaian proyek yang dikemukakan di atas. Pimpinan Gabungan Pelaksana Konstruksi Nasional Indonesia (Gapensi) mengatakan bahwa kondisi kedaruratan yang ditimbulkan oleh Covid-19 berimplikasi pada ketidakmungkinan proses pengerjaan konstruksi untuk berjalan normal, efektif, berkualitas dan tepat waktu. Akibat pandemi ini proyek pengerjaan bangunan di suatu daerah menjadi terbengkalai karena material dan para pekerjanya kesulitan ke lokasi proyek. Hal ini merupakan dampak dari kebijakan karantina wilayah yang diberlakukan pimpinan di daerah. Kondisi menjadi semakin berat jika materialnya harus didatangkan dari propinsi lain. Selain itu, kontraktor juga mengalami masalah akibat variabel eskalasi harga dan bahan baku yang melambung tinggi karena pelemahan nilai tukar rupiah.

Sehubungan dengan permasalahan yang dihadapi kontraktor di dalam pelaksanaan proyek konstruksi, pemerintah dihimbau untuk mengambil kebijakan dan tindakan berikut (Kompas.com, 2020):

- a. Mengeluarkan payung hukum terkait perpanjangan waktu penyelesaian pekerjaan hingga melampaui tahun anggaran.
- b. Melakukan penyesuaian harga satuan item pekerjaan dengan memberikan addendum biaya tambah atau dengan re-scoping (pengurangan item pekerjaan).
- c. Terkait dengan keberlanjutan proses pengadaan barang dan jasa konstruksi, mengevaluasi kembali Surat Edaran Menteri Keuangan (SE No. S-247/MK.07/2020 tentang penundaan pengadaan barang dan jasa yang bersumber dari DAK fisik.
- d. Tetap melanjutkan proyek dengan nilai di bawah 10 miliar yang diperuntukan bagi skala kecil dan atau UMKM.
- e. Mengusulkan agar belanja modal fisik yang direalokasi hanya untuk proyek multi years di mana azas manfaat dari kegiatan tersebut belum bisa dicapai sesuai target atau berfungsi pada tahun 2020.
- f. Terkait sektor keuangan, pemerintah diminta menurunkan suku bunga modal kerja konstruksi diiringi dengan restrukturisasi kredit dan penundaan bayar pokok sesuai dengan skala usaha. Selanjutnya, pembertakuan penurunan suku bunga modal kerja ditujukan untuk angsuran leasing alat berat konstruksi.

Pandemi Covid 19 selanjutnya berdampak kepada pertumbuhan industri konstruksi Indonesia secara menyeluruh. Menurut *Fitch Solution* (di dalam Kompas.com, 2021) nilai industri konstruksi Indonesia diperkirakan pada tahun 2021 tumbuh hanya 2,7 persen. Di tengah harapan akan adanya pemulihan sektor infrastruktur Indonesia pada tahun 2021, angka infeksi kasus Covid-19 yang melonjak sampai pertengahan tahun ini dan adanya pembatasan wilayah justru menjadi penghalang. Ditengarai bahwa dampak yang ditimbulkan pada tahun 2021 tidak akan separah kondisi tahun 2020, karena industri konstruksi termasuk sektor esensial dan dibiarkan terus berlanjut. Data pada paruh pertama tahun 2021 telah menunjukkan beberapa tanda pemulihan, meskipun pada angka lebih rendah dari yang diprediksi sejak awal. Meski demikian, kondisi industri konstruksi untuk sisa tahun ini masih sangat fluktuatif karena pandemi belum sepenuhnya terkontrol. Pemulihan sektor infrastruktur dan konstruksi Indonesia sangat bergantung pada kemampuan pemerintah untuk belanja infrastruktur (*Fitch Solutions* dalam Kompas.com, 2021).

Selama pandemi, biaya pelaksanaan konstruksi juga mengalami peningkatan. Di Jakarta rata-rata biaya konstruksi menembus angka 689 dollar AS atau ekuivalen dengan hampir Rp 10 juta per meter persegi (Kompas.com, 2021).



Di dalam laporan konsultan *real estate*, *Turner & Townsend* (di dalam Kompas.com, 2021), disampaikan bahwa selama hampir 18 bulan hingga tahun 2021 ini, pemerintah, bisnis, dan rumah tangga mengalami keadaan darurat sebagai dampak pandemi Covid-19. Dunia yang muncul akibat pandemi global sangat berbeda dengan sebelumnya. Sekarang, pemulihan pasca-pandemi sedang berlangsung, para pemimpin dunia menyerukan agar tahun-tahun mendatang menjadi lebih dari sekadar periode pertumbuhan, tetapi juga pembaruan dan perubahan positif. Pemerintah di seluruh dunia telah mendorong dan mengupayakan sektor konstruksi untuk terus bergerak, dan menjadi mesin pertumbuhan ekonomi yang lebih luas.

Fakta-fakta di atas menunjukkan disrupsi yang terjadi khususnya di dalam sektor konstruksi sebagai dampak dari pandemi Covid-19 (*unknown unknown*), dengan efeknya kepada keseluruhan rantai pasok, yang belum pernah terjadi sebelumnya. Meningkatnya biaya konstruksi, gangguan rantai pasok dan kekurangan tenaga kerja terampil, menjadi hambatan terbesar bagi pertumbuhan industri.

Dampak gabungan dari strategi negara yang berbeda untuk mengatasi pandemi menyebabkan konfigurasi ulang seluruh lanskap ekonomi global. Tingkat dan kecepatan perubahan selama 18 bulan terakhir belum pernah terjadi sebelumnya. Sifat dampak dan tingkat kompleksitas yang diakibatkannya tergantung terutama dari lokasi usaha dan proyek-proyek terkait. Aktivitas konstruksi bergerak dan berubah tergantung dari kebijakan pemerintah tentang apakah konstruksi dianggap sebagai kegiatan usaha yang esensial. Akibatnya, krisis Covid-19 telah mendorong para pelaku industri untuk meninjau kembali tantangan-tantangan bisnis jangka pendek maupun jangka panjang. Survei tahun ini melukiskan gambaran optimisme, namun hati-hati, untuk industri konstruksi. Awalnya, pemerintah mengalokasikan proporsi yang cukup besar pada Tahun Anggaran 2021 untuk pembangunan infrastruktur. Namun, pemerintah harus melakukan penyesuaian terhadap alokasi dana untuk pembangunan perawatan kesehatan. Karena itu, proyek dalam fase pra-konstruksi akan datang berada di bawah tekanan berat, terutama yang didanai negara. Ini akan membebani pertumbuhan nilai industri konstruksi hingga akhir tahun (Kompas.com, 2021).

5. MENYIKAPI *UNKNOWN UNKNOWN*S

Manajemen risiko yang dilaksanakan dengan baik diperlukan untuk menyikapi berbagai jenis risiko di dalam proyek konstruksi. Pemimpin proyek harus memastikan bahwa seluruh *known knowns* telah diperhitungkan, seluruh *known unknowns* diteliti lebih lanjut, dan audit dilakukan untuk meminimumkan dampak *unknown unknowns*.

Menurut de Bruijne et al. (2010), proyek-proyek dimana para pelakunya bekerja sama di dalam mengidentifikasi risiko, memiliki kemampuan untuk memperkecil peluang risiko *unknown* yang tidak pernah dikenal sebelumnya. Kerja sama ini akan menghasilkan analisis risiko bersama (*joint risk analysis*) dan komunikasi untuk mengurangi ambiguitas yang keseluruhannya memerlukan manajemen proses dan kolaborasi. *Partnering* merupakan dasar pemikirannya. Namun demikian, sikap seperti ini tidak mudah direalisasikan. Proyek-proyek kolaboratif seperti ini tidak dapat berhasil di dalam lingkungan dimana para pelakunya berusaha untuk mencapai sasarannya masing-masing. Inisiatif seperti ini harus diterapkan di dalam lingkungan yang lebih transparan. Untuk itu diperlukan cara berpikir yang baru dan cara yang baru pula untuk mengelola proyek-proyek infrastruktur berskala besar, dimana perilaku oportunistik dengan adanya fragmentasi berdasarkan kontrak harus dihindari.

Penelitian-penelitian yang dilakukan untuk mengeksplorasi cara memahami lebih baik *unknown unknowns* memperlihatkan bahwa tantangannya biasanya selain terletak pada sifat *unknown unknowns*, namun juga kadang-kadang pada pihak-pihak yang menghadapi *event* tersebut. Alles (2009) berpendapat bahwa halangan terbesar untuk menangani *unknown unknowns* adalah bahwa risiko ini tidak mudah dibayangkan dan juga bahwa mereka yang tidak mampu menghadapinya kadang-kadang secara sengaja mengabaikannya.

Pada kasus-kasus tertentu, suatu *event* yang berpeluang terjadi tidak dapat dikategorikan kepada *unknown unknown* karena telah diidentifikasi, namun konsekuensinya dapat dikategorikan kepada *unknown unknown*. Misalnya terjadinya bencana alam dapat diprediksi dengan mudah, namun dampaknya tidak mudah diestimasi karena efek *knock-on* atau efek domino yang berantai seperti yang dikemukakan oleh Ogaard (2009).

Di dalam lingkungan proyek yang menghadapi *unknown unknown* dan disrupsi sebagai dampaknya, pengambilan keputusan harus dilakukan dengan hati-hati. Pendekatan yang proaktif dilengkapi dengan aspek legalnya seringkali diperlukan untuk mengambil keputusan yang *cost-effective*.



Langkah pertama yang harus dilakukan di dalam mengelola *unknown unknown* adalah memahami akar permasalahan yang dihadapi. Walaupun permasalahannya tampak besar dan sulit diatasi namun setelah dilakukan penelitian lebih lanjut akar permasalahannya seringkali mungkin lebih kecil. Permasalahan harus dikomunikasikan sedini mungkin oleh manajer proyek. Selanjutnya perlu ada solusi yang direkomendasikan sehingga *stakeholders* dapat diyakinkan bahwa proyek dapat dilanjutkan. Seluruh pihak yang terlibat harus selalu memperoleh informasi mengenai kemajuan yang dicapai di dalam upaya mengatasi permasalahan. Komunikasi yang direncanakan dan dilaksanakan dengan baik merupakan kunci untuk membangun saling percaya dan kredibilitas. Untuk proyek yang akan dilaksanakan pada masa yang akan datang, permasalahan yang berawal dari *unknown unknown* pada proyek saat ini, akan menjadi *known unknown* dengan adanya dokumentasi mengenai pengalaman dan solusi yang diterapkan. Dengan demikian dapat diharapkan adanya pemahaman yang lebih baik mengenai risiko yang bersangkutan sehingga dapat didokumentasikan sebagai *known risk* untuk proyek lainnya. Tantangan seorang manajer proyek adalah menjadikan sebanyak mungkin *unknown unknowns* menjadi *known unknowns* sehingga dapat dilakukan antisipasinya dengan baik. Walaupun tidak semua hal dapat dipikirkan dan direncanakan, namun ada jalan untuk meminimumkan keterlambatan dan dampak negatif terhadap proyek akibat dari *unknown unknowns*.

6. KESIMPULAN

Events yang berpeluang rendah untuk terjadi namun dampaknya sangat signifikan bila terjadi (*Black Swans*) dan dikategorikan sebagai *unknown* dapat dialami oleh berbagai sektor dan industri. Banyak risiko yang secara inheren ada di dalam proyek-proyek infrastruktur seringkali tidak teridentifikasi atau bersifat *unknown* sampai *risk event* yang bersangkutan terjadi. Manajemen risiko umumnya meliputi analisis terhadap bahaya yang dapat diidentifikasi dan diduga (*foreseen*), sementara proyek infrastruktur yang besar dan kompleks tidak dapat mengabaikan keberadaan risiko yang tidak dapat diprediksi yang disebut dengan *unknown unknown*. Kenyataan ini terutama bersumber dari kurangnya pengetahuan tentang *unknowns* ini dan kejadian-kejadian pada masa yang lampau tidak cukup untuk memperkirakan masa yang akan datang. Terlebih lagi, sebagian besar proyek konstruksi infrastruktur bersifat unik dengan interaksi yang sangat beragam antar pihak-pihak yang terlibat. Masa pandemi Covid-19 telah memperlihatkan bahwa risiko yang tergolong dalam *unknown unknowns* berpotensi menyebabkan disrupsi di dalam proyek konstruksi infrastruktur. Disrupsi yang terjadi dapat menyebabkan proyek terhenti dan menimbulkan kebutuhan perubahan perencanaan dan pendanaannya. Pada keadaan ekstrem, *unknown unknowns* seperti pandemi Covid-19 berakhir dengan keadaan normal yang baru atau *'the New Normal'*. Untuk menyikapi *risk event* yang terjadi akibat *unknown unknowns* diperlukan kolaborasi yang baik di antara pihak-pihak yang terlibat di dalam proyek disertai dengan transparansi dan komunikasi untuk meminimumkan dampak negatifnya terhadap pencapaian objektif proyek.

REFERENSI

- Alles, M. (2009). Governance in the age of unknown unknowns. *International Journal of Disclosure and Governance*, 6, 85-88.
- De Bruijne, M., Koppenjan, J., Ryan, N. (2010). Coping with unknown unknown and perverting effects. An introduction to the crises of risk management in public infrastructure management, IRSPM Conference, Berne, Swiss.
- Hillson, D. (2005). Why Risks Turn into Surprises, *Risk Doctor Briefings (Electronic Version)* no. 16.
- Kim, S.D. (2012). Characterizing unknown unknowns. *PMI Global Congress*.
- Kompas.com (2020).
- Kompas.com (2021).
- Koran Sindo (2020).
- Ogaard, R. (2009). Known unknowns. *Reinsurance*.
- Rumsfeld, D. (2002). Department of Defense news briefing, February 12, 2002.
- Society of Construction Law Delay and Disruption Protocol (2017).
- Stoelnsnes, R.R. (2007). Managing unknowns in projects. *Risk Management*, 9(4), 271-280.
- Taleb, N.N. (2007). *The Black Swan, the Impact of the Highly Improbable*, New York, Random House.
- Veritas Total Solutions, *Unknown Unknowns: How to Manage Risk Against the Unexpected*, CTRM Project Management Done Right. Diunduh dari <https://info.veritasts.com/insights>



Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc., Ph.D.

Prof. Ir. Bambang Suhendro, M. Sc., Ph.D. adalah guru besar atau Ahli Utama dalam Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI). Saat ini aktif sebagai Guru Besar Fakultas Teknik di Universitas Gadjah Mada, Anggota Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (KKJTJ) Kementerian PUPR, Anggota Komite Keselamatan Konstruksi (Komite K2) Kementerian PUPR, Anggota Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (API), Korwil Jateng – DIY sebagai Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia, serta aktif sebagai Komda DIY dalam Asosiasi Ahli Rekayasa Kegempaan Indonesia.

Edukasi

- 1997 Sarjana Muda Teknik Sipil (BE), Fakultas Teknik UGM.
- 1979 Sarjana Teknik Sipil (Ir), Fakultas Teknik UGM.
- 1985, Master of Science in Structural Engineering (M.Sc.), Department of Civil & Environmental Engineering, Michigan State University, Michigan, USA.
- 1989 Doctor of Philosophy in Structural Engineering (Ph.D.), Department of Civil & Environmental Engineering, Michigan State University, Michigan, USA.
- 1996 Post Doctor Program in Smart Materials & Smart Structures, College of Engineering, Michigan State University, Michigan, USA.

Pelatihan Internasional

- 1980 Hydraulic Structures, Concrete Arch & Gravity Dams, Nippon Koei Consulting Engineers, Tokyo, Japan.
- 1982 Earthquake Engineering for Structural Engineers, Japan International Cooperation Agency
- 1999 Assessment of Existing Highway Bridges, Monash University, Clayton, Australia

Organisasi Profesional

Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (Haki) – Ahli Utama
Asosiasi Ahli Rekayasa Gempa Indonesia (AARGI)
Persatuan Insinyur Indonesia (PII)



Ilmiah Paten

ID P0029758: Konstruksi Perkerasan dan Pondasi Dengan Sistem Cakar Ayam Modifikasi, solusi pada tanah lunak dan ekspansif, 2011

P00201802759: Tumpuan Klip Sementara Untuk Mengukur Gaya Tarik Kabel Jembatan, 2019

Publikasi

75 Paper di International Journal / Conference Proceedings (30 diantaranya Scopus Indexed)

175 Paper dalam jurnal / Prosiding Seminar Nasional

KoNTeKs . 15

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-15

THE CONSTRUCTION INDUSTRY RECOVER,
REBUILD & RENEW IN THE PANDEMIC ERA



DAFTAR MAKALAH

A REKAYASA GEOTEKNIK

GT - 01	Analisis Ancaman Gerakan Tanah dan Kerusakan Lingkungan Pada Pembangunan Infrastruktur <i>Shortcut</i> <i>I Nengah Sinarta, Putu Ika Wahyuni, A.A Istri Wahyu Mahendrayani</i>	2
GT - 02	Estimasi Nilai <i>Suction</i> Pada Batas Plastis dan Batas Cair <i>Budijanto Widjaja, Stella Liviana, Martin Wijaya</i>	11
GT - 03	Analisis Lendutan <i>Rigid Pavement</i> Akibat Pengaruh <i>Sweeling Pressure</i> dengan Metode Elemen Hingga <i>Rojab Nurul Huda, Bambang Setiawan, dan Wibowo</i>	19
GT - 04	Metode Akurat Interpretasi Kontur Lapisan Pasir dengan Menggunakan Analisis <i>Surfer</i> Untuk Kajian Likuifaksi Pada <i>Sand Relief 3D Map Especially in The Coastal Zone</i> Kota Banda Aceh <i>Munirwansyah, M, Munirwan, R.P, Munirwan, H, Almira, Z</i>	26
GT - 05	Kajian Daya Dukung <i>Bore Pile</i> Pada Proyek Pembangunan Gedung Jendral Soedirman Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur <i>Ahmad dan Muhammad Noor Asnan</i>	34
GT - 06	Analisis Penanganan Longsor Tanah Lanau Kepasiran di Tegallalang, Gianyar, Bali <i>I Wayan Ariyana Basoka, I Ketut Yasa Bagiarta</i>	41
GT - 07	Evaluasi Potensi Likuifaksi dengan Aplikasi <i>App Inventor</i> <i>Daniel Hartanto, Widja Suseno, Yuli Yohanes dan Gabriel Jose</i>	49
GT - 08	Analisis Bangunan Miring Empat Lantai di Bangka Belitung Menggunakan Parameter Asumsi <i>Orlando, Gregorius Sandjaja Sentosa, Aniek Prihatiningsih, dan Alfred Jonathan Susilo</i>	62
GT - 09	Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kuat Tekan Bebas Campuran Tanah Lempung-Serat Sabut Kelapa <i>Anita Widianti, dan Hanung Adji Laksono</i>	72
GT - 10	Pengaruh Abu Tandan Sawit dan Semen Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Lempung <i>Muthia Anggraini, Alfian Saleh</i>	79
GT - 11	Penyelidikan Tanah Jalur Jalan I Gusti Ngurah Rai, Sunset Road, Pelabuhan Benoa dan Bandara I Gusti Ngurah Rai Bali <i>I Wayan Redana</i>	87
GT - 12	Analisis Daya Dukung dan Settlement Pada Pondasi <i>Bored pile</i> <i>Lydia Darmiyanti dan Moch Rizky Ramadhan</i>	94
GT - 13	Analisa Daya Dukung <i>Minipile</i> Pada Proyek Pembangunan <i>Taxiway</i> Bandara Aji Pangeran Tumenggung Pranoto Samarinda <i>Vebrian, Niswaton Arifah, Santi Yatnikasari, Muhammad Noor Asnan</i>	100
GT - 14	Kajian Longsor Kebun Kopi km 42 dengan Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas <i>Mohammad Zico Bierhofa, Sriyati Ramadhani, Martini dan Kusnindar Abdul Chau</i>	108
GT - 15	Pengaruh Molaritas dan Substitusi Bubuk Cangkang Telur Terhadap Nilai Kuat Tarik Belah Tanah Lanau dengan Stabilisasi Geopolimer-Abu Terbang <i>Willis Diana, Edi Hartono dan Serina Desylvia Triwidayarsi</i>	117



B. INFRASTRUKTUR DAN LINGKUNGAN

LK - 01	Sintesis Bangunan Pengolahan dan Instalasi Pengelolaan Air Limbah Kelapa Sawit <i>Rina Marina Masri, Iskandar Muda Purwaamijaya, Kathlien Nurfajrin dan Ryan Nizar</i>	126
LK - 02	Prioritas Pemeliharaan Bangunan Gedung Berbasis <i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Iskandar Muda Purwaamijaya, Muhammad Arik Farhan Fuadi, Rina Marina Masri dan Fairuz Salwa</i>	137
LK - 03	Penilaian Status Keberkelanjutan Pada Keseimbangan Air Tanah Dangkal di Kawasan Pemukiman Jakarta, Indonesia <i>Erna Savitri</i>	149
LK - 04	Penentuan Prioritas Strategi Kebijakan Konservasi Air Tanah Untuk Keberlanjutan Keseimbangan Air Tanah di Kawasan Pemukiman <i>Erna Savitri</i>	160

C. KEAIRAN

KA – 02	Analisis <i>Depth-Area-Duration</i> dengan HEC-RAS 2D Dalam Penentuan Infrastruktur Pengendalian Banjir di Banjir Sungai Pedolo <i>Kadek Windy Candrayana, I Nengah Sinarta, dan Cokorda Agung Yujana</i>	172
KA – 03	Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Akibat Banjir Bandang (<i>Flash Flood</i>) yang Mengangkut Sedimen dan Debris <i>Maimun Rizalihadi</i>	183
KA – 04	Pemodelan Fisik Pengaruh Tinggi Pasang Surut Terhadap Kecepatan Aliran di Muara Sungai <i>Imam Rohani, Daeng Paroka, Muhammad Arsyad Thaha, Mukhsan Putra Hatta</i>	194
KA – 05	Prioritas Pemeliharaan Bangunan Gedung Berbasis <i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Iskandar Muda Purwaamijaya, Muhammad Arik Farhan Fuadi, Rina Marina Masri dan Fairuz Salwa</i>	202
KA – 06	Identifikasi Kondisi Saluran <i>Drainase</i> Jalan Terhadap Indeks Kerusakan Perkerasan Lentur Dengan Metode <i>Pavement Condition Index</i> Pada Ruas Jalan <i>Bypass</i> Gempol Kabupaten Pasuruan Jawa Timur <i>Faradillah Saves, Nurani Hartatik dan Ahnaf Sururi</i>	214
KA – 08	Kajian Teknis Stabilitas Kolam Pengendap Pada Area Penambangan PT. AFB di Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah <i>Muh. Saleh Thalib, Setiyawan dan Yuli Asmi Rahman</i>	226



D. MANAJEMEN DAN REKAYASA KONSTRUKSI

MK - 01	Identifikasi Faktor Keterlambatan Pada Tahap <i>Procurement</i> di Masa Pandemi <i>Coronavirus Disease-19</i> Pada Proyek Konstruksi <i>Yemima Theofanny, Caecilia Prayitna Welend, Hermawan, Jati Dwi Hatmoko</i>	241
MK - 02	Analisis Kesiapan Penyedia Jasa Dalam Upaya Peningkatan Kualitas Produk Konstruksi <i>Albani Musyafa</i>	248
MK - 03	Manajemen Konflik Rencana Anggaran Biaya Dalam Membangun Sarana Umum dengan Sistem Gotong Royong <i>Edison Hatoguan Manurung, Abdul Mubarak dan Charles Sitindaon</i>	255
MK - 04	Pengaruh Perubahan Desain Separator Lift Pada Tahap Konstruksi Terhadap Biaya Konstruksi (Studi Kasus Pembangunan Gedung di Jl. M.H. Thamrin, Jakarta) <i>Alip Prajoko, Edison Hatoguan Manurung dan Akhmad Dofir</i>	260
MK - 05	Pengaruh Pandemi COVID-19 Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Bangunan: Persepsi Kontraktor	266
MK - 06	Kajian Faktor yang di Pertimbangkan Dalam Penyediaan Alat Berat <i>Excavator</i> di Kota Banda Aceh <i>Ricky Reja Pahlevie, Mubarak, Fachrurrazi</i>	274
MK - 07	Analisis Perbandingan Dampak Pandemi Covid-19 Pada Kontraktor Berskala Besar dan Kecil di Kota Jabodetabek <i>Felix Hidayat, Nathaniel Wijaya, Muchammad Sarwono Purwa Jayadi</i>	282
MK - 08	Studi Awal Efisiensi Penggunaan 5D-BIM Terhadap Volume Material dan Estimasi Biaya Pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus Rumah Tinggal 2 Lantai) <i>A. Christopher Dwi B, Daniel Suryo Wasono, Hermawan, Jati Utomo Dwi Hatmoko</i>	292
MK - 09	Studi Awal Pemodelan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) 4D Menggunakan <i>Program</i> Tekla <i>Structures</i> Berbasis <i>Life Cycle</i> (Studi Kasus Pada Proyek X di Yogyakarta) <i>Amelia Putri Sabela, Luthfi Nindyapradana, Hermawan, Jati Utomo Dwi Hatmoko</i>	302
MK - 10	Pengaruh <i>Hard Skill</i> dan <i>Soft Skill</i> Dalam Kesuksesan Proyek Konstruksi <i>I Nyoman Yudha Astana, GAP. Candra Dharmayanti, Ni Made Indah Virgayanti</i>	313
MK - 11	Penanganan Dampak Ancaman Gelombang Kedua COVID-19 dalam Sektor Konstruksi di Indonesia <i>Desiderius Viby Indrayana, Abdurrahim Rafsanjani</i>	320
MK - 12	Identifikasi Peran dan Kebutuhan Informasi <i>Stakeholders</i> Utama Dalam Pengembangan SITIKI <i>Jonathan dan Muhamad Abduh</i>	328
MK - 13	Pengaruh Kompetensi Terhadap Kinerja Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Tanjungpinang Dalam Implementasi <i>E-Procurement</i> <i>Dede Fajarnadi Candra</i>	339
MK - 14	Analisis dan Pengendalian Risiko Kerja Pada Pelaksanaan Proyek Bendungan Sidan di Badung, Bali <i>Dewa Ketut Sudarsana, Ida Bagus Rai Adnyana, I Gusti Made Putra Wedhana</i>	347
MK - 15	Proyek Konstruksi Pada Masa Pandemi Covid-19: Studi Terhadap Kebijakan Bagi Pekerja Konstruksi <i>Ryandika, Meifrinaldi</i>	356

MK – 16	Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) Pada Pekerjaan <i>Runway</i> Bandara Buntu Kunik Kabupaten Tana Toraja <i>Eka Priska Kombong, Parea Rusan Rangan, Henrianto Masiku, Jacob Bokko, Decalice Sandagallang, Marselina Indrisari</i>	366
MK – 17	Penerapan <i>Value Engineering</i> (VE) Pembangunan Irradiator Gamma Serbaguna Kapasitas 2 MCi <i>Jasman, dan Mardiaman</i>	375
MK – 18	Kesesuaian Standar Perencanaan Gedung dan Jembatan Pada Proyek Strategis Nasional Stasiun Manggarai Jakarta <i>Ferry Hermawan1, Himawan Indarto2, Muhrozi2, Novita Bertiani Ndeo2 dan Alliza Nanda El Husna</i>	387
MK – 20	Evaluasi Kinerja Sumber Daya Manusia Pada Proyek Gedung Apartemen 31 Sudirman <i>Suites</i> di Masa Pandemi Covid 19 <i>Ayu Sari Pasinggi, Josefina Ernestine, Latupeirissa, Meti</i>	397
MK – 22	Kajian Faktor-Faktor Keberhasilan Hubungan Kerjasama Kontraktor dengan Subkontraktor/Pemasok (Studi Kasus: Proyek Konstruksi di DKI Jakarta dan Jawa Barat) <i>Sabela Putri Sexa dan Biemo W. Soemardi</i>	406
MK – 23	Kajian Penerapan Teknologi Oleh Kontraktor Dalam Menghadapi Kondisi Pandemi Covid-19 <i>Rika Permatasari, Ignatius Mahardika, dan Biemo W. Soemardi</i>	417
MK – 24	Studi Literatur Kontrak Lumsum Berdasarkan Standar Pemerintah Indonesia dan FIDIC <i>Ritman Miko Hartanto, Jack Widjajakusuma dan Manlian Ronald Simanjuntak</i>	428
MK – 25	Studi Literatur Pengelolaan Risiko Pelaksanaan Proyek Bangunan Pantai Terhadap Kinerja Waktu Pelaksanaan <i>Marchin Alfredo, Jack Widjajakusuma</i>	435
MK – 26	Kajian Pengembangan Tolok Ukur Jalan Tol Hijau Baru di Indonesia <i>Kevin Andika Hartono dan Iris Mahani</i>	443
MK – 27	Umur Layan Cat di Indonesia: Kajian Literatur <i>Brigitta Petra Kartika Narindri</i>	455
MK – 29	Analisa Percepatan Proyek Menggunakan Metode <i>Crashing</i> dengan Alternatif Penambahan Tenaga Kerja atau Durasi Kerja <i>Andy Putra Rambe, Syahrizal dan Bunga Violita</i>	464
MK – 30	Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Proyek Menggunakan Metode <i>Fast-Track</i> dan <i>Crash Program</i> <i>Andy Putra Rambe, Ihda Mariani, Syahrizal</i>	471
MK – 31	Penerapan <i>Forensic Engineering</i> Pada Heritage Building (Studi Kasus: Kantor OJK Regional 3, Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta) <i>Hermawan, Junaedi Utomo, Daniel Hartono, Albertus Kriswandhono, Yohanes Khrisna Hadi Putra, Michael Sandjaya Yulianto</i>	482
MK – 32	<i>Branding</i> Pasar Tradisional Indonesia Sebagai Upaya Peningkatan Daya Saing Infrastruktur <i>Ferry Hermawan, Lius Catur Adiputro, Mariawati Manik, Rudi Yuniarto Adi</i>	490

E MATERIAL

MT - 02	Pengaruh Bahan Tambah Lem Beton Untuk Perbaikan Kegagalan Struktur Balok Beton Akibat Tarik Belah dan Lentur <i>Djoko Suwarno, Yoga Priyantono, Ariya Ferdian Nalendra, Widija Suseno</i>	607
MT - 03	Analisa Pengaruh Pemanfaatan Limbah Keramik Pada Campuran <i>Self Compacting Concrete</i> (SCC) <i>Anik Kustirini, Adolf Situmorang, Diah Setyati B. dan Bambang Purnijanto</i>	613
MT - 04	Pemanfaatan Limbah Pome Pada Lapisan <i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i> (AC-WC) <i>Alfian Saleh, Muthia Anggraini, Fadrizal Lubis</i>	619
MT - 05	Tinjauan Sifat Fisik dan Mekanis Kayu Galam (<i>Malaluca Cajuputi</i>) Sebagai Balok Perancah Pengecoran Beton <i>Anang Akbar Arha, Ari Atfhin, Muhammad Noor Asnan, Farkhan Musyadad</i>	626
MT - 06	Kajian Kuat Tekan dan Absorpsi Beton dengan Bahan Tambah <i>Damdex</i> <i>Djoko Suwarno, Iqlauzal Zuhul Zenidane, Dany Aji Laksono, Yohanes Yuli Mulyanto</i>	633
MT - 07	Pemanfaatan <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) Sebagai <i>Additive</i> Pada Kuat Tarik Belah Beton Mutu Tinggi <i>Keumala Citra Sarina Zein, Wahyuni, Ulul Azmi</i>	641

ST - 18	Perilaku <i>Joint</i> Balok Kolom Standar PBI 1971 Terhadap Beban Siklik Setelah Perbaikan dengan Bahan Ferosemen <i>Zardan Araby, Samsul Rizal, Abdullah, Mochammad Afifuddin</i>	798
ST - 19	Pengaruh Gaya Aksial Tekan Terhadap Perilaku Kolom <i>Nuraji</i>	806

PERKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN MORTAR GEOPOLIMER

Rita Irmawaty¹, Fakhruddin² dan Andrew Oktaviyanto Gosal³

^{1,2,3}*Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin,
Jl. Poros Malino KM. 06 Bontomarannu, Gowa,
Sulawesi Selatan
Email: Rita_irmaway@yahoo.co.id*

ABSTRAK

Kerusakan balok beton bertulang seringkali dijumpai dalam berbagai jenis infrastruktur, baik pada struktur baru maupun pada struktur lama. Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya untuk pencegahan sebelum struktur mengalami kegagalan, sedangkan perbaikan struktur diterapkan sebagai upaya untuk mengembalikan fungsi struktur seperti semula setelah mengalami penurunan kekuatan. Pengaplikasian mortar *geopolymer* berbahan *fly ash* kelas C sebagai material perkuatan struktur belum banyak diteliti dan akan didiskusikan dalam tulisan ini. Studi ini menyajikan perilaku lentur dan mode kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan mortar geopolimer pada daerah tarikannya. Enam balok beton bertulang dengan dimensi 150 mm x 200 mm x 3300 mm, terdiri dari balok konvensional (BK), balok yang diperkuat dengan mortar geopolimer dengan dan tanpa penambahan serat PVA (BGP dan BGPF). Masing-masing variasi terdiri atas dua balok uji. Area perkuatan balok pada daerah tarik sepanjang 2700 mm dan tebal 50 mm. Mortar *geopolymer* terbuat dari *fly ash* kelas C, pasir dan aktivator yang terdiri atas *Sodium Hydroxide* dan *Sodium Silicate*. Hasil uji uji lentur menunjukkan bahwa kemampuan balok dalam memikul beban setelah diperkuat dengan mortar *geopolymer* (BGP) hampir sama dengan BK. Namun dengan penambahan serat PVA pada mortar *geopolymer* (BGPF), kapasitas balok dalam memikul beban meningkat 9,02% terhadap BK dan 16,14% terhadap BGP. Semua balok mengalami kegagalan lentur. Pada daerah sambungan, balok BGP mengalami kegagalan delaminasi, sedangkan balok BGPF mengalami kegagalan *debonding*.

Kata kunci: *fly ash*, *geopolymer*, perkuatan struktur

1. PENDAHULUAN

Balok beton bertulang konvensional pada umumnya terdiri dari campuran kerikil, pasir, semen dan air serta tulangan baja. Beton bertujuan untuk menahan gaya tekan sedangkan tulangan baja untuk menahan gaya tarik dan geser. Distribusi tegangan akibat beban lentur yang diterima balok, akan menyebabkan serat bagian atas balok tertekan dan serat bagian bawah balok tertarik. Pada saat beban ditingkatkan, balok menahan regangan dan defleksi tambahan yang menyebabkan retak-retak lentur sepanjang daerah tarik dari balok. Penambahan beban secara terus menerus akan mengakibatkan kegagalan atau kerusakan pada elemen struktural. Berbagai kerusakan pada struktur balok seperti retak, segregasi dan *spalling* sering dijumpai baik pada struktur baru maupun struktur lama. Perkuatan struktur dilakukan untuk bangunan yang riskan terhadap beban tambahan yang akan dipikul, sehingga perlu meningkatkan kemampuan bangunan tersebut atau menambahkan elemen struktur baru yang tidak tersedia atau dianggap tidak ada pada saat struktur dibangun. Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya untuk pencegahan sebelum struktur mengalami kegagalan, sedangkan perbaikan struktur diterapkan sebagai upaya untuk mengembalikan fungsi struktur seperti semula setelah mengalami penurunan kekuatan.

Beton geopolimer (GPC) telah diteliti selama beberapa dekade terakhir sebagai alternatif bahan konstruksi berkelanjutan, yang dapat meminimalkan emisi CO₂ dengan penggunaan produk sampingan industri. Penelitian sebelumnya tentang GPC menunjukkan bahwa material tersebut cocok untuk aplikasi struktural, dengan *workability* yang bisa diterapkan, dan tingkat kekuatan yang sebanding dengan beton semen Portland biasa (Hassan, Arif and Shariq, 2019). Geopolimer didefinisikan sebagai material yang dihasilkan



dari geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkali-silikat yang menghasilkan kerangka polimer SiO_4 dan AlO_4 yang terikat secara tetrahedral (Davidovits, 2020). Salah satu material *geopolymer* yaitu *fly ash* yang kaya dengan unsur Alumina (Al) dan Silika (Si).

Penelitian ini mengembangkan geopolimer berbasis *fly ash* (FA) sebagai bahan untuk perbaikan dan penguatan struktur. *Fly ash* merupakan salah satu material yang biasa digunakan dalam pembuatan beton geopolimer. Beton ramah lingkungan terbentuk dari reaksi kimia, sedangkan beton konvensional terbentuk dari proses hidrasi (Davidovits, 2020). Penggunaan *fly ash* sebagai pilihan dalam pembuatan geopolimer merupakan salah satu penemuan untuk mengurangi timbunan produk samping pada pembangkit listrik. Menurut Hardjito dkk (Hardjito *et al.*, 2004) dan Hashim *et al.* (Hashim *et al.*, 2015), pengikatan geopolimer dibentuk dengan mencampur *fly ash* dan larutan alkali, di mana Natrium Hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 8 hingga 16 molar dapat diaplikasikan.

Kendala umum yang sering ditemukan pada beton geopolimer adalah konsistensi, yang biasanya lebih rendah dari beton konvensional. Selain itu, retak mikro juga sering terjadi selama proses pengerasan karena sifatnya yang rapuh dan kekuatan tarik yang rendah. Perawatan yang tepat dan penambahan serat merupakan solusi untuk meminimalkan terjadinya retak awal. Beberapa serat, seperti serat alam dan serat sintetis, telah direkomendasikan untuk ditambahkan ke dalam campuran geopolimer. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa komposisi serat tertentu dapat meningkatkan sifat mekanik beton (Ekaputri *et al.*, 2016; Manfaluthy and Ekaputri, 2017). Polivinil alkohol (PVA) adalah salah satu serat yang direkomendasikan untuk *geopolymer* karena penyerapan airnya relatif rendah dan memiliki sifat tarik yang sangat baik.

Berkaitan dengan hal tersebut, penelitian ini mengkaji perilaku lentur balok beton bertulang yang diperkuat dengan mortar geopolimer, dengan dan tanpa penambahan serat PVA. Uji lentur enam balok beton bertulang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Hasanuddin. Hubungan beban-lenturan, pola retak dan mode kegagalan struktur akan didiskusikan.

2. PROGRAM EKSPERIMENTAL

Studi eksperimen dilakukan untuk mengevaluasi perilaku lentur dalam hal ini hubungan beban dan perpindahan, mode kegagalan dari balok beton bertulang yang diperkuat dengan mortar *geopolymer* dengan dan tanpa penambahan serat PVA.

Mortar geopolimer

Mortar *geopolymer* terbuat dari *fly ash*, pasir dan aktivator yang terdiri atas *Sodium Hydroxide* (NaOH) dan *Sodium Silicate* (Na_2SiO_3). *Fly ash* berasal dari PLTU Bosowa di kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan. Berdasarkan hasil uji X-Ray Fluorescence (XRF) dengan total komposisi kimia dari $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ sebesar 60.07%, maka *fly ash* dikategorikan ke dalam kelas C menurut ASTM C 618. Adapun komposisi kimia *fly ash* tersaji pada Tabel 1. *Fly ash* kelas C dengan kandungan CaO yang cukup tinggi, menyebabkan waktu *setting* mortar *geopolymer* lebih cepat. Oleh karenanya ditambahkan Borax (Natrium Tetraborate/ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) untuk memperlambat waktu *setting*.

Tabel 1. Komposisi kimia *fly ash* (persen terhadap berat)

Oksida	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	H_2O	SO_3
%	37.04	11.41	11.62	19.24	0.57	0.72	4.53	0.51	1.37

Alkali activator yang terdiri dari *Sodium Silicate* (Na_2SiO_3) dan *Sodium Hydroxide* (NaOH) dibuat dengan rasio 1.5. Konsentrasi NaOH 8 Molar ditentukan berdasarkan penelitian Risdanareni (Risdanareni, Ekaputri and Triwulan, 2015). Rasio berat alkali terhadap *fly ash* adalah konstan sebesar 50:50. Pasir alam juga ditambahkan dalam campuran. Untuk menjaga *workability* yang baik dan mencegah terjadinya proses *setting* yang cepat, *polycarboxylate superplasticizer* ditambahkan ke dalam campuran dengan komposisi 2% terhadap berat *fly ash*.

PVA fiber dengan tipe NYCON-PVA RECS 15 (diameter 38 μm dan panjang 8 mm) ditambahkan untuk meningkatkan daktilitas dari mortar geopolimer. Fiber digunakan sebesar 0.6% terhadap volume total campuran, ditambahkan diakhir proses pencampuran untuk menghindari terjadinya pengumpalan (Zerfu dan Ekaputri, 2021). Komposisi campuran mortar *geopolymer* diperlihatkan pada Tabel 2. Mutu mortar *geopolymer* dikontrol menggunakan benda uji kubus dengan sisi 50 mm sebanyak 3 buah, dicuring dengan

moist curing sampai umur 28 hari dan diuji tekan.

Tabel 2. Komposisi campuran mortar *geopolymer* (kg/m³)

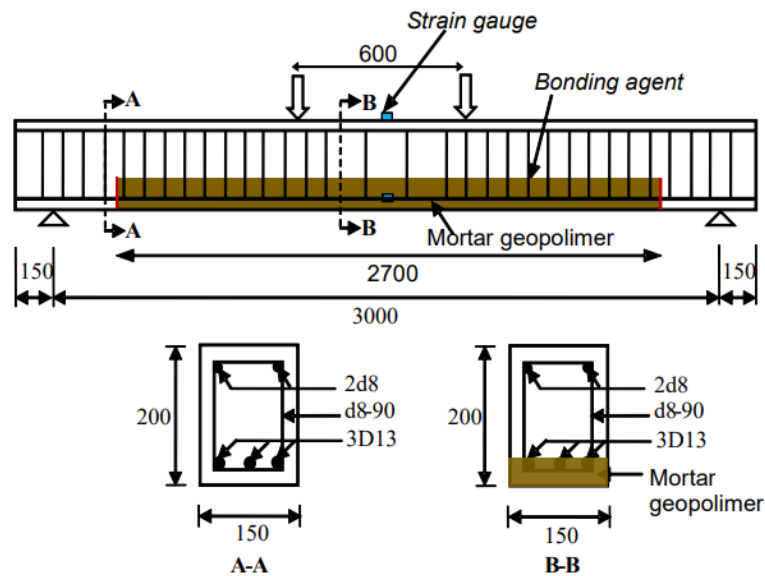
Kode	NaOH	Na ₂ SiO ₃	PVA	Pasir	Fly ash	Super plasticizer	Borax
GP	156	234	0	780	390	7.8	6
GPF	156	234	6.5	780	390	7.8	6

Benda uji

Enam balok beton bertulang dengan ukuran penampang 150 mm x 200 mm dan Panjang 3300 mm dibuat dengan 3 (tiga) variasi yaitu balok konvensional (BK), balok yang diperkuat dengan mortar geopolimer dengan dan tanpa penambahan serat PVA (BGP dan BGPF). Variasi benda uji disajikan pada Tabel 3. Panjang area perkuatan pada daerah tarik balok yaitu 2700 mm dan tebal 50 mm, jarak tumpuan ke tumpuan sejauh 3000 mm. Detail benda uji diperlihatkan pada Gambar 1. Benda uji dibuat menggunakan beton *ready mix* dengan kuat tekan rencana 22 MPa. Mutu beton normal (BN) dikontrol menggunakan benda uji silinder diameter 100 mm dan tinggi 200 mm sebanyak 3 buah yang diletakkan benda uji balok dan dicuring dengan *moist curing* hingga waktu pengujian, sehingga keduanya memiliki perlakuan yang sama.

Tabel 3. Variasi benda uji

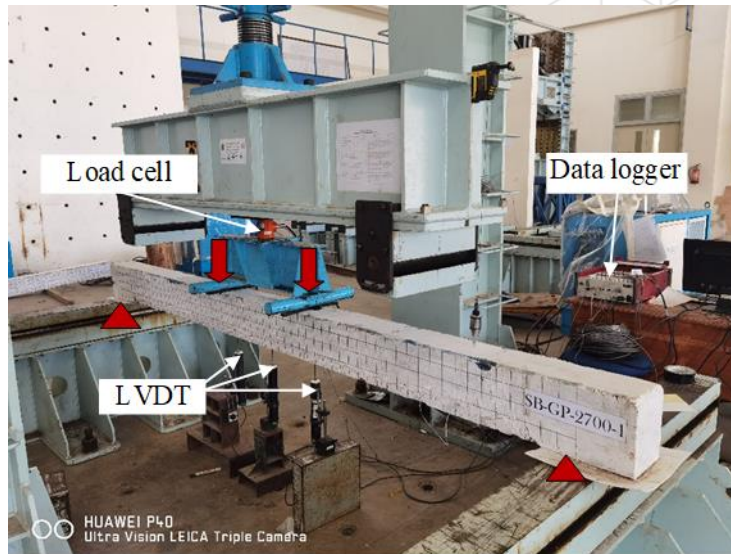
Kode	Material Perkuatan	Jumlah
BK	-	2
BGP	Mortar <i>geopolymer</i>	2
BGPF	Mortar <i>geopolymer</i> + PVA	2



Gambar 1. Dimensi benda uji

Setting benda uji

Semua benda uji balok diuji menggunakan *static load frame* berkapasitas 1500 KN dengan metode kontrol beban, kecepatan pembebanan 0.15 mm/sec. Gambar 2 memperlihatkan *Setup* benda uji. Tiga buah LVDT diletakkan pada sisi bawah balok untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. *Strain gauge* tipe PL-60-11 dan FLA-2-11 direkatkan pada sisi tekan beton dan tulangan tarik untuk mengukur besar regangan.



Gambar 2. Setup pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ada dua jenis pengujian yang dilakukan yaitu pengujian sifat mekanis material (beton normal, mortar *geopolymer* dan baja tulangan) dan pengujian lentur balok beton bertulang. Pengujian sifat mekanis berupa uji tekan atau uji Tarik untuk mengetahui kekuatan material yang digunakan pada balok beton bertulang. Sedangkan pengujian lentur balok beton bertulang dilakukan untuk menganalisis pengaruh penggunaan mortar geopolimer dengan dan tanpa penambahan serat PVA terhadap perilaku lentur balok beton bertulang, dalam hal ini hubungan beban-lendutan, pola retak dan mode kegagalan yang terjadi.

Sifat mekanis material

Beton dan mortar *geopolymer* diuji tekan pada umur 28 hari setelah dirawat dengan *moist curing*. Nilai kuat tekan rata-rata benda uji ditampilkan pada Tabel 4. Nilai kuat tekan mortar *geopolymer* (GP dan GPF) lebih rendah dari beton normal. Hasil uji tarik baja tulangan ulir D13 dan tulangan polos d8 dari masing-masing 3 benda uji diperoleh tegangan leleh (f_y) D13 sebesar 336 MPa dan f_y d8 sebesar 384 MPa.

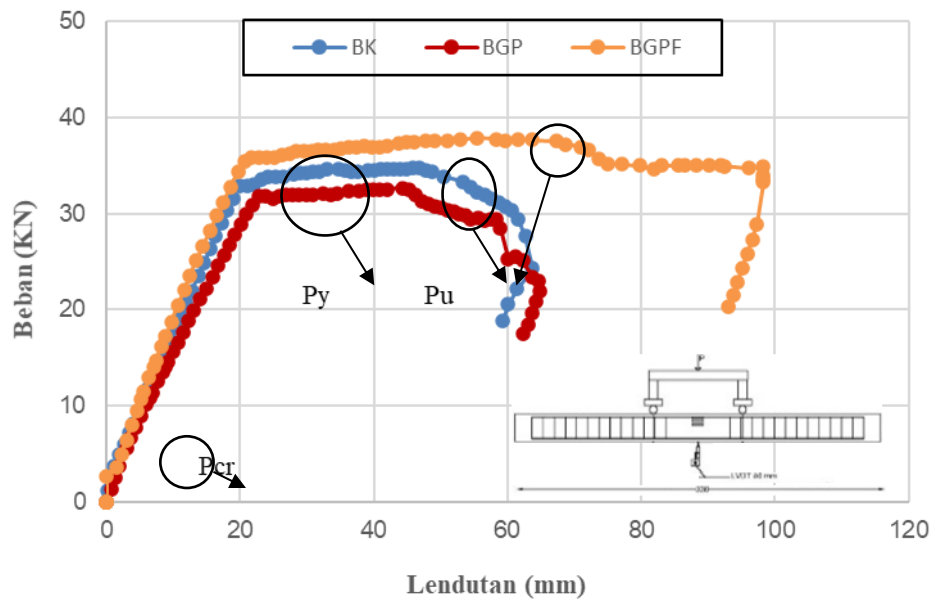
Tabel 4. Kuat tekan beton dan mortar *geopolymer*

Kode	Kuat Tekan (MPa)	Persentase (%)
BN	24.40	-
GP	14.27	58.5
GPF	21.87	89.6

Hubungan beban-lendutan

Secara umum, perilaku hubungan beban-lendutan dibagi menjadi 3 fase. Fase pertama adalah fase dimana beton masih dalam kondisi elastis. Fase kedua adalah fase pasca retak, dan fase ketiga adalah fase dimana tulangan leleh. Peralihan dari masing-masing fase ditandai dengan perubahan kekakuan pada grafik hubungan beban-lendutan. Titik peralihan pertama digunakan untuk mengidentifikasi retak awal dan titik peralihan kedua digunakan untuk mengidentifikasi leleh pada tulangan.

Gambar 3 menunjukkan hubungan beban-lendutan balok BK, BGP, dan BGPF. Lendutan yang ditunjukkan pada gambar tersebut merupakan lendutan yang terjadi di tengah bentang. Besar beban dan lendutan disetiap fase disajikan pada Tabel 5. Ketiga variasi benda uji memperlihatkan grafik trilinear, dimana balok mengalami retak pada pembebanan awal. Seiring dengan bertambahnya beban, balok berperilaku *elastoplastic* hingga tulangan baja meleleh, kemudian beban cenderung konstan dengan penambahan lendutan hingga balok mengalami keruntuhan.



Gambar 3. Hubungan beban-lendutan

Beban maksimum pada BGP menurun 6,52% dibandingkan BK. Hal ini disebabkan oleh kuat tekan mortar geopolimer lebih rendah dari beton normal dan bersifat getas (*brittle*), sehingga menimbulkan banyak retak yang berimplikasi pada penurunan kapasitas balok dalam memikul beban. Dengan penambahan serat PVA pada mortar *geopolymer*, beban maksimum BGPF meningkat 9,02% terhadap BK dan memperlihatkan perilaku yang lebih duktail daripada BK dan BGP. Efek dari penambahan serat PVA, selain meningkatkan kapasitas balok dalam memikul beban, juga mampu meminimalisir *microcrack* yang terjadi selama proses pengerasan (*hardening process*) dan mereduksi jumlah retak akibat beban lentur, meskipun kuat tekan GPF lebih rendah dari BN.

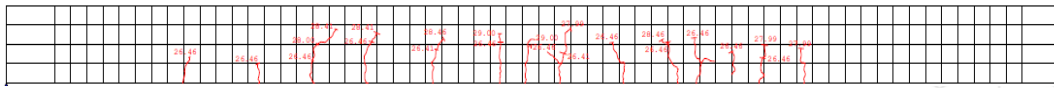
Tabel 5. Beban dan lendutan ditiap fase

Kode	Beban (KN)			Lendutan (mm)		
	P _{cr}	P _y	P _u	δ _{cr}	δ _y	δ _u
BK	4.93	32.92	34.78	1.87	19.88	43.77
BGP	5.53	31.85	32.65	2.97	22.78	44.28
BGPF	6.46	35.85	37.92	2.25	21.63	55.40

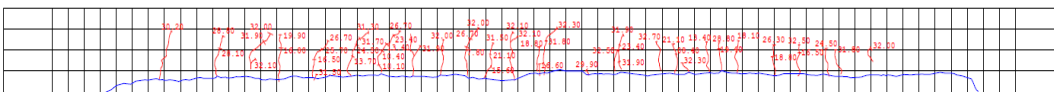
Note: cr (*crack*) = kondisi retak awal; y (*yield*) = kondisi leleh; u (*ultimate*) = kondisi *ultimate*

Pola retak dan mode kegagalan

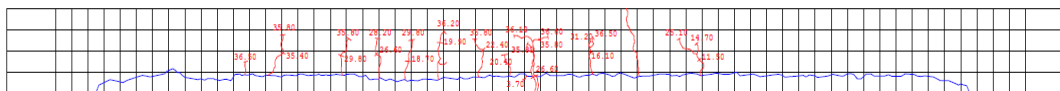
Gambar 4 menunjukkan pola retak pada semua benda uji. Secara umum, semua balok mengalami retak lentur yang ditandai dengan retak dalam arah vertikal. Retak berawal ditengah bentang dan bertambah panjang, merambat dari sisi tarik ke sisi tekan balok. Pada BGP, retak dimulai pada area sambungan antara mortar *geopolymer* dan beton normal. Pada area ini juga ditemukan *micro-crack*. Namun pada BGPF, tidak ditemukan adanya *micro-crack* dan jumlah retak lebih sedikit dibandingkan BK dan BGP. *Bridging effect* dari penambahan serat PVA pada mortar *geopolymer* mampu mengurangi lebar dan laju perkembangan retak akibat beban lentur.



a. BK



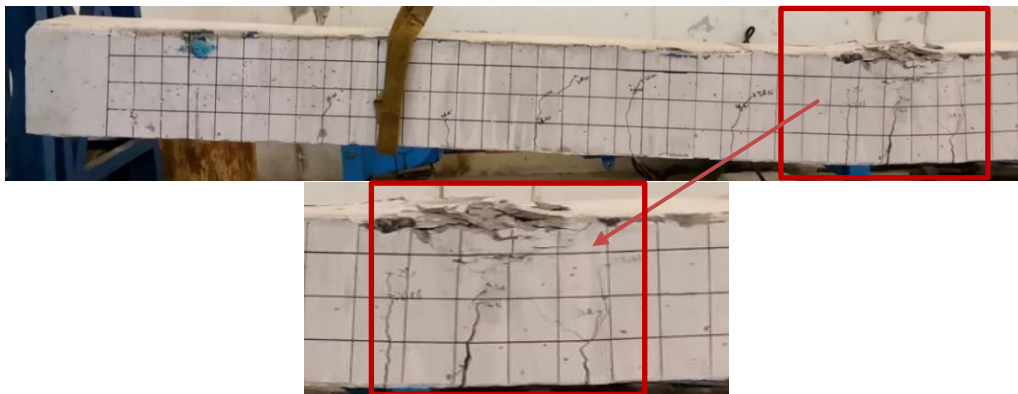
b. BGP



c. BGPF

Gambar 4. Pola retak benda uji

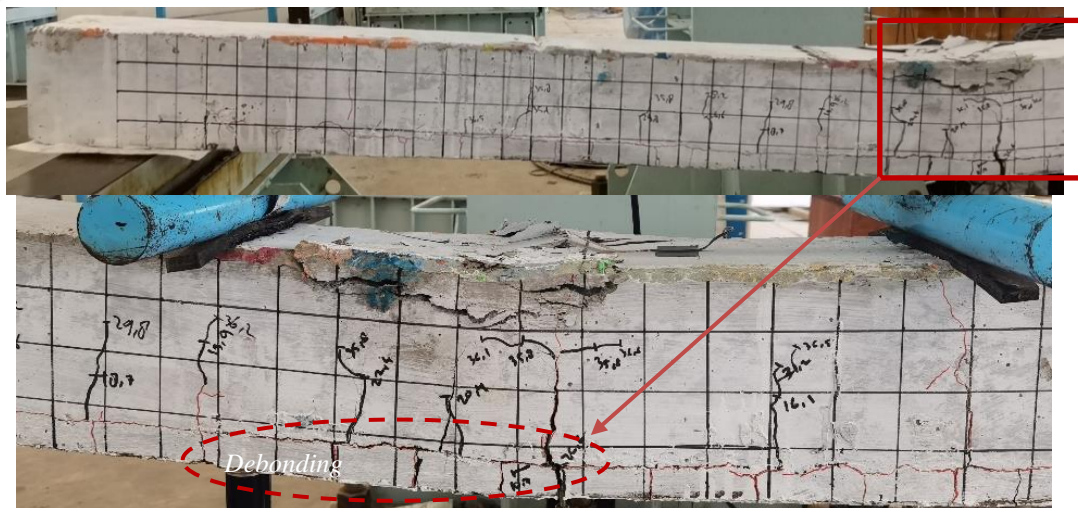
Gambar 5 memperlihatkan mode kegagalan balok. Balok kontrol (BK) mengalami kegagalan lentur (*flexural failure*) pada kondisi *under-reinforced* yang ditandai dengan tulangan tarik telah meleleh diikuti dengan hancurnya beton pada sisi tekan (Gambar 5a). Pada BGP, ditemukan *micro-crack* pada sambungan beton normal dan mortar geopolimer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5b. Dari sisi perkembangan retak, hampir seluruh retak berawal dari *microcrack* yang terjadi pada area sambungan. Pada saat beban maksimum, beton pada sisi tekan hancur dan terjadi kegagalan sambungan akibat adanya delaminasi beton normal dan mortar geopolimer (Gambar 5b). Sedangkan pada BGPF, balok mengalami kegagalan *debonding* yaitu hilangnya lekatan antara beton normal dan mortar geopolimer yang terlihat dari terputusnya retak-retak pada sambungan seperti pada Gambar 5c, dan beton pada sisi tekan hancur pada beban maksimum.



a. Kegagalan lentur pada BK



b. Kegagalan delaminasi pada BGP



c. Kegagalan *debonding* pada BGPF

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan diskusi, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan mortar geopolimer sebagai material perkuatan balok tidak memberikan efek positif dalam peningkatan beban. Namun dengan penambahan serat PVA 0.6% terhadap volume total campuran mortar geopolimer, mampu mengurangi terjadinya *microcrack* khususnya di daerah sambungan antara beton dan mortar, sehingga kapasitas balok dalam memikul beban meningkat 9,02% dibandingkan balok kontrol. Adanya serat PVA juga berpengaruh terhadap mode kegagalan balok, dimana balok dengan perkuatan mortar geopolimer tanpa serat PVA mengalami kegagalan delaminasi, sementara balok dengan perkuatan mortar geopolimer dan serat PVA mengalami kegagalan *debonding*.

DAFTAR PUSTAKA

- Davidovits, J. (2020) *Geopolymer Chemistry and Applications. 5-th edition, J. Davidovits.–Saint-Quentin, France.*
- Ekaputri, J. J. *et al.* (2016) 'Effect of PVA fiber in increasing mechanical strength on paste containing glass powder', *Key Engineering Materials*, 673(August), pp. 83–93. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.673.83.
- Hardjito, D. *et al.* (2004) 'On the development of fly ash-based geopolymer concrete', *ACI Materials Journal*, 101(6), pp. 467–472. doi: 10.14359/13485.



- Hashim, A. N. *et al.* (2015) 'Effect of Sodium Hydroxide (NaOH) Concentration on Compressive Strength of Alkali-Activated Slag (AAS) Mortars', *Applied Mechanics and Materials*, 754–755(March), pp. 300–304. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.754-755.300.
- Hassan, A., Arif, M. and Shariq, M. (2019) 'Use of geopolymer concrete for a cleaner and sustainable environment – A review of mechanical properties and microstructure', *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.051.
- Manfaluthy, M. L. and Ekaputri, J. J. (2017) 'The Application of PVA Fiber to Improve the Mechanical Properties of Geopolymer Concrete', *MATEC Web of Conferences*, 138. doi: 10.1051/mateconf/201713801020.
- Risdanareni, P., Ekaputri, J. J. and Triwulan (2015) 'The influence of Alkali activator concentration to mechanical properties of geopolymer concrete with trass as a filler', *Materials Science Forum*, 803(August), pp. 125–134. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.803.125.
- Zerfu, K. and Ekaputri, J. J. (2021) 'Bond strength in PVA fibre reinforced fly ash-based geopolymer concrete', *Magazine of Civil Engineering*, 101(1). doi: 10.34910/MCE.101.5.