



ISBN: 978-979-98659-6-0



**KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL KE-13**

**PROSIDING**

**Volume I:  
Struktur, Material, Manajemen Rekayasa Konstruksi**

Banda Aceh, 19-21 September 2019

**“Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan  
Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan  
Berwawasan Lingkungan”**

ISBN: 978-979-98659-6-0

# **PROSIDING**

## **KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL KE-13**

**[KoNTekS-13]**

### **VOLUME I**

Struktur, Material, Manajemen Rekayasa Konstruksi

Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan  
Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan  
Berwawasan Lingkungan

**Banda Aceh, 19-21 September 2019**

**Benazir, Luky Handoko, Han Ay Lie, Widodo Kushartomo,  
Ahmad Muhajir, Alfi Salmannur, Nina Shaskia, Yulfa Devi  
Muhaira, Cut Izzah Kemala, Shofiyah Putri Anjani**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS SYIAH KUALA**

Jl. Syeh Abdurrauf No. 7 Darussalam, Banda Aceh, 23111 Indonesia.

Phone: (0651) 7552222

Email: [tekniksipil@unsyiah.ac.id](mailto:tekniksipil@unsyiah.ac.id)

## PENYELENGGARA DAN SPONSORSHIP KEGIATAN

# KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL KE-13 (KoNTekS-13)

Diselenggarakan oleh:



Didukung oleh:



Disponsori oleh:



Banda Aceh, 19-21 September 2019

## Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) - 13

*“Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan Berwawasan Lingkungan”*

### PROSIDING KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL (KONTEKS) KE-13 “Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan Berwawasan Lingkungan”

<b>Pengarah</b>	: Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Eng.	(Rektor Universitas Syiah Kuala)
<b>Pelindung</b>	: Dr. Ir. Taufiq Saidi, M.Eng.	(Dekan Fakultas Teknik)
<b>Penanggung Jawab</b>	: Dr. Teuku Budi Aulia, S.T., Dipl.Ing.	(Ketua Jurusan Teknik Sipil)
<b>Ketua</b>	: Dr. Renni Angraini, S.T., M.Eng.	
<b>Sekretaris</b>	: Dr. Anita Rauzana, S.T., M.T.	
<b>Bendahara</b>	: Dr. Halida Yunita, S.T., M.T.	

#### Reviewer

Prof. Dr. Ir. Munirwansyah, M.Sc.	Dr. Eng. Sugiarto, S.T., M.Eng.
Prof. Dr. Azmeri, S.T., M.T.	Dr. Anita Rauzana, S.T., M.T.
Prof. Ir. Djoko Legono, Ph.D.	Dr. Nora Abdullah, S.T., M.Eng.
Prof. Dr. Ir. Sofyan M. Shaleh, M.Sc.Eng.	Dr. Muhammad Ramdhan Oliy, S.T., M.Sc.
Dr. -Ing Ir. Teuku Budi Aulia, Dipl. Ing.	Dr. I Gusti Lanang Bagus Eratodi, S.T., M.T.
Dr. Renni Angraini, S.T., M.Eng.	Dr. Hasdinar Umar, S.T., M.T.
Dr. Ir. Mochammad Afifuddin, M.Eng.	Dr. Ir. Dwi Prasetyanto, M.T.
Dr. Yunita Idris, S.T., M.Eng.Structure	Dr. Ir. Djoko Suwarno, M.Si.
Dr. Ir. Muttaqin, M.T.	Nurisra, S.T., M.T.
Dr. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng.	Daniel Hartanto, S.T., M.T.
Dr. Yulia Hayati, S.T., M.Sc.	Ir. Maimun Rizalihadi, M.Sc.Eng.
Dr. Mawiti Infantri Yekti, S.T., M.T.	Fachrurrazi, S.T., M.T.
Dr. Ir. Eldina Fatimah, M.Sc.	I Putu Gustave Suryantara, S.T., M.Eng.
Dr. Kuswandi, S.T., M.T.	Muhammad Ahlan, S.T., M.Sc.
Dr. David S.V.L. Banggana, S.T., M.T.	Febriyanti Maulina, S.T., M.T.
Dr. Eng. Syamsidik, S.T., M.Sc.	Surya Bermansyah, S.T., M.T.
Dr. Yusria Darma, S.T., M.Sc.Eng	Reza P. Munirwansyah, S.T., M.Sc.
Dr. Cut Zukhrina Oktaviani, S.T., M.T.	Irda Yunita, S.T., M.Sc.
Dr. Munira Sungkar, S.T., M.T.	Gede Pringgana, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Halida Yunita, S.T., M.T.	Juliana Fisaini, S.T., M.T.
Dr. Lisa Oksri Nelfia, S.T., M.T, M.Sc.	Zahra Amalia, S.T., M.Eng.

#### Editor

Dr. Benazir, S.T., M.Eng.  
Dr. Eng. Luky Handoko, S.T., M.Eng.  
Prof. Dr. Ir. Han Ay Lie, M.Eng.  
Dr. Widodo Kushartomo, S.Si., M.Si.  
Ahmad Muhajir, S.T., M.Eng.Sc.  
Alfi Salmannur, S.T., M.T.  
Nina Shaskia, S.T., M.Sc.  
Yulfa Devi Muhaira  
Cut Izzah Kemala  
Shofiyah Putri Anjani

#### Penerbit

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS SYIAH KUALA  
Jl. Syeh Abdurrauf No. 7 Darussalam, Banda Aceh, 23111 Indonesia.  
Phone: (0651) 7552222, email: [tekniksipil@unsyiah.ac.id](mailto:tekniksipil@unsyiah.ac.id).

## **PRAKATA TIM EDITOR**

Assalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah telah selesainya penyusunan prosiding dari makalah-makalah yang disajikan dalam Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) ke-13 dengan Tema:

**“Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan Berwawasan Lingkungan”**

Penyuntingan (*editing*) makalah hanya sebatas pada tata tulis atau format penulisan, di antaranya batas tepi, penomoran isi, penomoran halaman, penomoran gambar, penomoran tabel, spasi, font, dan kesalahan pengetikan. Penyuntingan tidak mengubah isi dari makalah sehingga keaslian, pengambilan sumber referensi, dan mungkin terjadi (seandainya) plagiat atas karya orang lain merupakan tanggung jawab penulis yang bersangkutan.

Semoga semua pihak dapat memaklumi dengan kondisi tersebut. Diucapkan terima kasih atas bantuan semua pihak yang terlibat sehingga proses penyuntingan untuk Prosiding Seminar Nasional ini dapat diselesaikan, disusun, dan diterbitkan.

Wassalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Banda Aceh, 19 September 2019

Tim Editor

## **STEERING COMMITTEE**

Han Ay Lie, Ir., M.Eng., Dr., Prof. (UNDIP)  
Leksmono Suryo Putranto, M.T., Ph.D., Prof. (UNTAR)  
Manlian Ronald A. Simanjuntak, ST., M.T., Dr., Prof. (UPH)  
Stefanus Adik, Ph.D., Prof. (UNS)  
Yoyong Arfiadi, Ir., M.Eng., Ph.D., Prof. (UAJY)  
Anissa Maria Hidayati, Ir., M.T., Dr. (UDAYANA)  
Bambang E. Yuwono, Ir., Dr. (USAKTI)  
Dwi Prasetyanto, Ir., M.T., Dr. (ITENAS)  
Emma Akmalah, Ph.D. (ITENAS)  
A.P. Candra Dharmayanti, S.T., M.Sc., Ph.D. (UDAYANA)  
Gede Pringgana, S.T., M.T., Ph.D. (UDAYANA)  
Herman, Ir., M.T., Dr. (ITENAS)  
I Ketut Sudarsana, S.T., Ph.D. (UDAYANA)  
Dwijoko Anusanto, Ir., M.T., Dr. (UAJY)  
Jack Wijayakusuma, Dr.-Ing. (UPH)  
Koesmargono, Ir., M.C.M., Ph.D. (UAJY)  
Luky Handoko, S.T., M.Eng., Dr.Eng. (UAJY)  
Mawiti Infantri Yekti, S.T., M.T., Dr. (UDAYANA)  
Muhammad Abduh, Ir., M.T., Ph.D. (ITB)  
Niken Silmi Suryandari, S.T., M.T., Dr. (UNS)  
Onnyxiforus Gondokusumo, Ir., M.Eng., Dr. (UNTAR)  
Rintis Hadiani, Ir., M.T., Dr. (UNS)  
Sholihin As'ad, Ir., M.T., Dr. (UNS)  
Sugeng Wijanto, Ir., M.Eng., Ph.D. (USAKTI)  
Trihono Kadri, Ir., M.S., Dr. (USAKTI)  
Wati Asriningsih Pranoto, Ir., M.T., Dr. (UNTAR)  
Widodo Kushartomo, S.Si., M.Si., Dr. (UNTAR)  
Wiryanto Dewobroto, Ir., M.T., Dr. (UPH)  
Yessi Nirwana Kurniadi, S.T., M.T., Ph.D. (ITENAS)  
Yuki Achmad Yakin, S.T., M.T., Dr. (ITENAS)  
Teuku Budi Aulia, Dr.-Ing Ir., Dipl.Ing (UNSYIAH)  
Bambang E. Yuwono, Ir., Dr. (USAKTI)  
Lisa Oksri Nelfia, S.T., M.T, M.Sc. Dr. (USAKTI)  
Daniel Hartanto, S.T., M.T. (UNIKA Soegijapranata)  
Hermawan, S.T., M.T., Dr. (UNIKA Soegijapranata)  
Djoko Suwarno, Ir., M.Si., Dr. (UNIKA Soegijapranata)  
Maria Wahyuni, Ir., M.T., Dr. (UNIKA Soegijapranata)  
Budi Santosa, Ir., M.T. (UNIKA Soegijapranata)

## **KATA SAMBUTAN**

### **KETUA JURUSAN TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS SYIAH KUALA**



Assalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah SWT karena berkat rahmat-Nya yang berlimpah maka Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) ke-13 dapat diselenggarakan pada tanggal 19-21 September 2019 di Banda Aceh.

Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) adalah pertemuan ilmiah tahunan di bidang teknik sipil yang telah diselenggarakan sejak tahun 2007. Penyelenggaraan KoNTekS diinisiasi oleh Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta (UAJY) yang kemudian semakin berkembang sehingga akhirnya terbentuk konsorsium sebagai penyelenggara KoNTekS. Hingga saat ini konsorsium beranggotakan Program Studi dari Universitas Atma Jaya Yogyakarta (UAJY), Universitas Pelita Harapan (UPH), Universitas Udayana (UNUD), Universitas Trisakti (USAKTI), Universitas Sebelas Maret (UNS), Institut Teknologi Nasional (ITENAS), Universitas Tarumanagara (UNTAR), Universitas Katolik Soegijapranata, dan Universitas Syiah Kuala (UNSYIAH). Konsorsium ini merupakan wadah kerjasama antar Program Studi Teknik Sipil yang menjadi anggotanya di mana kegiatannya akan terus dikembangkan sehingga mampu memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi dunia Teknik Sipil di Indonesia. Selain itu, KoNTekS telah mendapat dukungan sepenuhnya dari Badan Musyawarah Pendidikan Tinggi Teknik Sipil Seluruh Indonesia (BMPTTSSI) dan telah dijadikan konferensi tahunan BMPTTSSI. Pada penyelenggaraan KoNTekS-13, konsorsium mempercayakan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala sebagai host dalam penyelenggaraan konferensi nasional ini. Mengacu pada perkembangan industri konstruksi dengan memperhatikan aspek mitigasi kebencanaan dan isu lingkungan, maka konferensi nasional ini dipilih dengan tema: “Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan Berwawasan Lingkungan”.

Dalam menyukseskan agenda ilmiah ini, banyak pihak yang terlibat. Maka dengan itu, kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada Rektor Universitas Syiah Kuala, Dekan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Komite Ilmiah dan para Reviewer KoNTekS 13, Moderator, dan semua pihak sponsor yang telah mendukung kegiatan ini. Ucapan terima kasih juga dihanturkan kepada Bapak/Ibu presenter yang sudah bersedia mengirimkan makalah dan dipresentasikan pada kegiatan ini. Serta terima kasih juga saya ucapkan kepada para peserta yang sudah meluangkan waktu untuk hadir pada acara ini. Terakhir, terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang sudah mendukung kegiatan ini yang tidak bias disebut satu-persatu sehingga acara ini dapat terlaksana.

## **Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) - 13**

*“Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan Berwawasan Lingkungan”*

Akhir kata, saya ucapkan terima kasih kepada panitia yang telah bekerja keras selama persiapan dan prosesi konferensi ilmiah ini. Semoga hasil dari konferensi ini dapat menjadi sumbangan pemikiran untuk riset dan profesi Teknik Sipil dalam mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

Banda Aceh, 19 September 2019

Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala



**Dr. -Ing Ir. Teuku Budi Aulia, Dipl. Ing.**



## **KATA SAMBUTAN**

### **KETUA PANITIA KONTEKS KE-13**



*Assalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Pertama-tama saya ingin menyampaikan syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga acara Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) ke-13 dapat terlaksana dengan baik pada tanggal 19-21 September 2019. Serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat beliau.

KoNTekS ke-13 ini mengambil tema:

*“Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan Berwawasan Lingkungan”*

Pada KoNTekS ke-13 ini menghadirkan keynote speakers dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Universitas Gadjah Mada, Institut Teknologi Bandung, dan Universitas Syiah Kuala. Lebih dari 200 makalah dipresentasikan pada pertemuan ilmiah ini dari berbagai universitas di Indonesia dan praktisi. Makalah tersebut terdiri dari konsentrasi struktur, material, manajemen konstruksi, geoteknik, transportasi, infrastruktur, hidroteknik, lingkungan, dan mitigasi bencana.

KoNTekS juga didukung oleh Badan Musyawarah Pendidikan Tinggi Teknik Sipil Seluruh Indonesia (BMPTTSSI), yang bertujuan untuk mewujudkan penyelenggaraan materi kuliah dan proses pembelajaran yang setara bagi seluruh prodi Teknik Sipil di seluruh Indonesia. Sebagai penyelenggara KoNTekS kali ini, kami merasa bangga dengan kepercayaan yang diberikan oleh BMPTTSSI ini. Apalagi Rapat Bamus XII juga diselenggarakan bersamaan dengan kegiatan KoNTekS ini, untuk membahas mengenai perkembangan kurikulum prodi Teknik Sipil dan memilih lokasi penyelenggaraan KoNTekS ke-14 tahun depan.

Terselenggaranya konferensi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Saya ingin berterima kasih kepada para sponsor yang telah mendukung secara moril dan finansial sehingga pelaksanaan acara KoNTekS ke-13 ini dapat berjalan dengan sukses.

Selaku Ketua Panitia, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada jajaran pimpinan Universitas/Fakultas/Jurusan atas kepercayaan yang diberikan kepada saya. Saya juga mengucapkan ribuan terima kasih pada panitia yang telah berjuang dan mencurahkan segenap tenaga, waktu, serta pikiran untuk mensukseskan Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) ke-13 ini. Tanpa kerjasama yang baik, maka acara KoNTekS ke-13 ini tidak akan berjalan dengan

## **Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) - 13**

*“Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan Berwawasan Lingkungan”*

lancar. Oleh karenanya saya sangat mengapresiasi apa yang telah dikerjakan oleh para panitia. Sekali lagi terima kasih saya ucapkan dari lubuk hati saya yang paling dalam.

Akhir kata, kami ucapkan selamat berseminar kepada segenap presenter, pemakalah, dan peserta. Semoga konferensi ini memberi hasil yang bermanfaat bagi perkembangan industri konstruksi dan pendidikan Teknik Sipil di Indonesia. Atas nama panitia, saya juga mohon maaf yang sebesar-besarnya jika ada hal yang kurang dalam penyelenggaraan KoNTekS ke-13 ini.

Banda Aceh, 19 September 2019

Wassalam,



**Dr. Renni Anggraini, S.T., M.Eng.**

## DAFTAR ISI

### VOLUME I

PENYELENGGARA DAN SPONSORSHIP KEGIATAN .....	i
SUSUNAN KEPANITIAAN.....	ii
PRAKATA TIM EDITOR.....	iii
STEERING COMMITTEE .....	iv
KATA SAMBUTAN KETUA JURUSAN TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS SYIAH KUALA .....	v
KATA SAMBUTAN KETUA PANITIA KONTEKS KE-13 .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
TEMA A: STRUKTUR .....	1
Analisis Kapasitas Balok Komposit dengan Penghubung Geser Kanal Baja Menggunakan Program Bantu Elemen Hingga (Gati Annisa Hayu, Ahmad Miftah Azis, Syamsul Arifin).....	2
Analisis Balok Kontinu pada Struktur Cerobong ( <i>Chimney</i> ) akibat Beban Gempa (Anwar Dolu dan Amrinsyah Nasution).....	12
Pemodelan Balok Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Metode <i>Deep Embedment</i> Menggunakan Software Berbasis Elemen Hingga (Ridwan, Alfian Kamaldi, Yaser Jemaa, Muhammad Rizki, Wan Muhammad Nurhud, Alex Kurniawandy) .....	24
Kegagalan Struktur Bangunan di Kota Palu dan Kabupaten Sigi Pasca Gempa 28 September 2018 (Shyama Maricar, Anwar Dolu, Agus Rivani).....	32
Perkuatan dan Rehabilitasi Struktur Dermaga (Studi Kasus Dermaga Kaimana Papua Barat) (Ignatius Sudarsono dan Dani Setiawan).....	39
Kajian Perbandingan Jembatan Pelengkung Baja Tipe <i>Through Arch</i> dengan Tipe <i>Half-Through Arch</i> (Bernardinus Herbudiman, Amatulhay Pribadi, Dita Permatasari) .....	46
Kajian Perbandingan Jembatan <i>Cable Stayed</i> Sistem Satu Bidang dengan Sistem Dua Bidang (Amatulhay Pribadi, Bernardinus Herbudiman, Miftahul Jannah) .....	55
Analisis Numerik Paparan Panas pada Bata Ringan Menggunakan Program LUSAS V17 (Abrar Rifqi Pratama, Reni Suryanita, Ismediyanto) .....	63
Analisis Statis Jembatan Gantung Pejalan Kaki dengan Tiga Variasi Kedalaman Lengkungan Kabel (Muttaqin Hasan, M. Arief Rahman Panjaitan, Rusmala Nurdianti).....	71
Pengembangan Aplikasi DEPS untuk Pembelajaran Perencanaan Struktur Baja dengan Metode <i>Flipped Classroom</i> (Ruri Damayanti, Ronny H. Purba, M. David Marsal, Irwan Janwar, Fina Febriana, Mahmudah).....	79

## Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS) - 13

"Inovasi Sains dan Teknologi dalam Penerapan Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan Berwawasan Lingkungan"

Analisis Numerik Perilaku Mekanik Balok Beton Bertulang dengan dan Tanpa Sengkang (Dimas Arief Wicaksono, Reni Suryanita, Zulfikar Djauhari).....	90
Analisis Sifat Mekanik Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete Menggunakan Program LUSAS V17 (Roma Dearn, Reni Suryanita, Ismeddiyanto) .....	96
Analisis Perilaku Mekanik pada Balok Beton Bertulang Pascabakar dengan Menggunakan Program LUSAS V17 (Dede Eldi Kurniawan, Reni Suryanita, Zulfikar Djauhari) .....	102
Perilaku Seismik Struktur Rangka Beton Bertulang Bertingkat Rendah dengan Perkuatan <i>Wing Wall</i> (I Ketut Sudarsana, I Gede Adi Susila, I Putu Eka Darmawan).....	108
Analisis Kekuatan Abutment Jembatan Kr. Tingkeum terkait Pergantian Struktur Bangunan Atasnya (Munawir dan Meillyta).....	119
Aplikasi Frequency Domain Decomposition (FDD) pada Struktur Portal Ruang (Richard Frans dan Yoyong Arfiadi).....	128
Pengaruh Deformasi Geser pada Program Bantu Analisis Struktur REALIN2D untuk Portal 2 Dimensi (Yoyong Arfiadi) .....	136
Perilaku dan Daktilitas Perbaikan Sambungan Balok dan Kolom Beton Bertulang (Zardan Araby, Abdullah, Mochammad Afifuddin) .....	146
Kekuatan Kolom Hidrolis dalam Memikul Beban Rumah Panggung di Daerah Rob, Kelurahan Kemijen, Kota Semarang (Widija Suseno Widjaja, Ety E. Listiati, I.M. Tri Hesti Mulyani, B. Tyas Susanti) .....	154
Kuantifikasi Pasokan Redaman Pendisipasi Energi Metal (Junaedi Utomo, Muslinang Moestopo, Adang Surahman, Dyah Kusumastuti).....	163
Pemanfaatan Open Source Software Opensees Melalui Interpreter Python untuk Analisis Gempa pada Bangunan Beton Bertulang (Irwandi Irwandi, Rudiansyah Putra, dan Khaizal Jamaluddin) .....	170
Evaluasi Perilaku Struktur Gedung akibat Perubahan Fungsi dari Hotel Menjadi Rumah Sakit di Banda Aceh (Djaiz Rizqy Muchnirwandi, Surya Bermansyah, Yulia Hayati) .....	179
TEMA B: MATERIAL.....	190
Pengaruh Kadar Air Pada Parameter Geser Tanah Organik yang Distabilisasi dengan Limbah Karbit dan Abu Ampas Tebu (John Tri Hatmoko dan Luky Handoko) .....	191
Studi Parametrik pada Tanah Lempung Berplastisitas Rendah yang Distabilisasi dengan Semen (Hendra Suryadharma dan John Tri Hatmoko).....	201
Durabilitas Campuran Aspal Beton Menggunakan Abu Sabut Kelapa dan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Filler (Veranita dan Rinaldy) .....	211
Kajian Kuat Lentur Pelat <i>Floating Concrete</i> (Hazairin, Bernardinus Herbudiman, Erma Desmaliana, Bangkit Pajar Dinillah).....	220

Pengaruh Ukuran Butiran Maksimum Agregat Halus terhadap Modulus Elastisitas dan Kuat Tarik Belah <i>Reactive Powder Conceret</i> (Widodo Kushartomo, Henny Wiyanto, Albert, William Kurniawan) .....	345
Studi Experimental Karakteristik Campuran Aspal Beton (AC – WC) Menggunakan Liquid Asbuton dengan Penambahan Serpih Sampah Plastik (Achmad Zultan Mansur dan Daud Nawir).....	350
Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton AC-WC Menggunakan Pasir Besi dan Liquid Asbuton dengan Variasi Penambahan Aspal Minyak Penetrasi 60/70 (Daud Nawir dan Achmad Zultan Mansur) .....	360
Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Katalis terhadap Kenaikan Permukaan pada Bata Ringan ULC (Ahmad Hamidi dan Neri Puspita Sari).....	370
Pengaruh Variasi Kadar <i>Fly Ash</i> pada Beton <i>Heated Styrofoam</i> sebagai Substitusi Agregat dalam Sifat Mekanik Beton Ringan (Angelina Eva Lianasari, Andi Prasetyo Wibowo, Trevi Arga Kurniawan, Zaki Adhi Wiransyah M) .....	377
Pemanfaatan Bubuk Terak Nikel sebagai Substitusi Parsial Semen pada Beton Normal (L. Oksri-Nelfia, Reynaldi Akbar, Sotya Astutiningsih) .....	386
Analisis Perilaku Portal Bidang Baja Hollow yang Diisi Mortar FAS 0.4 dengan Variasi Tinggi Portal (Mochammad Afifuddin, Huzaim, Mursal).....	395
Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan <i>Fly Ash</i> sebagai Pengganti Sebagian Semen pada Bata Ringan Jenis CLC (Ita Lopang, Rachmansyah, Hardi Kurniawan) .....	402
Studi Eksperimental Beton <i>Geopolymer</i> dengan Kuat Tekan Tinggi (Afni Kurniati Tambing, Rachmansyah, Hardi Kurniawan, Richard Kano, Ita Lopang).....	413
Karakteristik Campuran HRS – Base Menggunakan Bubuk Dolomit sebagai Filler (Rais Rachman).....	421
Campuran HRS-WC Menggunakan Agregat Batu Gunung Desa Palipu Kecamatan Mengkendek Tana Toraja (Alpius).....	430
Pengaruh Penggunaan Semen PCC terhadap Karakteristik Beton di Lingkungan Asam Sulfat (Rita Irmawaty, Herman Parung, Mukhlis Hamid).....	441
TEMA C: MANAJEMAN KONSTRUKSI.....	449
Analisis Infrastruktur Pariwisata: Kasus di Yogyakarta (Peter F Kaming, Triapriano Kaidu, Fritwel R. Payung, Carlo Salenus).....	450
Evaluasi Sistem Proteksi Aktif dan Pasif sebagai Upaya Penanggulangan Bahaya Kebakaran pada Gedung Sekolah X Bandung (Katarina Rini Ratnyanati dan Yulia Trianisa) .....	462
Penerapan Metode Fast Track untuk Percepatan Waktu Pelaksanaan Pembangunan Gedung Intensif Terpadu RSSA Malang (Indah Wahyuning Tyas, dan Erik Tjandra Widjaksono).....	472
Ketentuan Mengenai Insentif dalam Kontrak Konstruksi – Kajian Literatur (Mifna A. Mutianisa dan Reini D. Wirahadikusumah).....	482

Pengaruh Gaya Kepemimpinan terhadap Kinerja Karyawan Perusahaan Jasa Konstruksi di Kota Denpasar (Ni Kadek Astariani, Gede Sumarda, Putu Doddy HA, IGM Sudika).....	492
Analisis Risiko Biaya Antara Kontrak Lumpsum dengan Kontrak Unit Price Menggunakan Metode Pohon Keputusan (Edi Mawardi dan Rinaldy) .....	501
Analisis Finansial Proyek Pembangunan Perumahan Graha Arum di Singaraja, Bali (Dewa Ketut Sudarsana, Ida Ayu Rai Widhiawati, Gede Hardi Purnawan) .....	512
Analisa Risiko Pelaksanaan Konstruksi Jalan Tol Cimanggis - Cibitung untuk Meningkatkan Kinerja Waktu (Mardi Aman dan Indriyanto) .....	518
Risiko Bisnis Properti berdasarkan Perspektif Pengembang (Ignasius Komala dan Harijanto Setiawan).....	530
Analisis Perhitungan Depresiasi dan Biaya Sewa Alat Berat (Dian Febrianti dan Zakia) .....	537
Analisis Penggunaan Teknologi pada <i>Building Information Modeling</i> (BIM) dan Manfaatnya dalam Pengendalian Biaya pada Proyek Konstruksi (Ahmad Sulthan Yassar, Rafli, Dewi Ritawanti) .....	545
Penggunaan <i>Building Information Modelling</i> (BIM) pada Bangunan Berkelanjutan dan Keuntungannya dalam Proses Pengendalian Biaya, Mutu, dan Waktu (Rafli, Bambang Endro Yuwono, Julia Damayanti) .....	562
Penilaian Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Metode Hirarc (Studi Kasus Proyek Hotel and Villa Impiana Ubud Bali) (Ni Komang Armaeni, I Putu Ari Sanjaya, I Wayan Gde Erick Triswandana) .....	569
Penerapan Aspek Manajemen Lingkungan Bangunan pada 3 Komplek Perumahan di Kota Banda Aceh (Buraida).....	576
Identifikasi Faktor Penyebab Keterlambatan Sumber Daya pada Pelaksanaan Konstruksi Gedung di Kota Palu (Fahirah F dan Fanti Susella).....	585
Variabel Kesuksesan Penerapan Struktur Vertikal Pola Rantai Pasok Pengadaan Proyek Konstruksi Jalan dan Jembatan (Josefine Ernestine Latupeirissa, Irwan Lie K W, Helen A I Sopacua) .....	591
Identifikasi Faktor yang Mempengaruhi Penentuan Prioritas Penanganan Jalan di Kota Palu (Fahirah F, Nirmalawati, Zulfikar).....	599
Analisis Keandalan Sistem Proteksi Kebakaran pada Gedung Dinas Registrasi Kependudukan Kota Banda Aceh (Aldina Fatimah, Firmansyah Rachman, Aldi Suharja).....	607
Kajian Manajemen Risiko dalam Proyek Kerjasama Pemerintah Swasta (KPS)/ Kerjasama Pemerintah Badan Usaha (KPBU) dengan Menggunakan Metode <i>House Of Risk</i> (HOR) (Putu Ika Wahyuni, Putu Gede Suranata, Putu Gde Erick Triswandana).....	618
Kajian Pembangunan Infrastruktur dalam Konektivitas Maritim Indonesia (Wulfram I. Ervianto) .....	626

Persepsi Praktisi Konstruksi terhadap Layanan Logistik Pihak Ke-Tiga dalam Rantai Pasok Konstruksi (Fauziah Shanti Cahyani Siti Maisarah, Hanson E. Kusuma, Muhamad Abduh).....	631
Faktor-faktor yang Mempengaruhi Tingkat Kompetensi Kontraktor Kecil Bidang Pembangunan Infrastruktur di Wilayah Bandung Raya (Adhi Prabowo, Fauziah Shanti Cahyani Siti Maisarah, Muhamad Abduh).....	640
Kajian Perbandingan Biaya dan Waktu pada Bearing Wall dengan Bata Merah dan Bata Ringan (Katarina Rini Ratnayanti, Erma Desmaliana, Muhammad Farhan Izharuddin).....	647
Pengaruh Kepemimpinan terhadap Kinerja Pelaksanaan Proyek Gedung di Kabupaten Gianyar (Anak Agung Diah Parami Dewi, Gede Astawa Diputra, I Putu Agus Satria Setyawan).....	655
Peningkatan <i>Constructability</i> pada Proyek Konstruksi Di Bali dari Perspektif Kontraktor (I Putu Ari Sanjaya, I Gede Putu Joni, Ariany Frederika).....	666
Evaluasi Penerapan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015 pada PT. Tunas Jaya Sanur (G. A. P Candra Dharmayanti, I Gede Ngurah Hendita Renaldy Putra, I Nyoman Swastika) .....	671
Faktor-faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Power - Trowelling pada Pekerjaan Finishing Permukaan Pelat Lantai Beton (Ayub Diski Purnama, Fidelis Prayudha, Hermawan, Budi Setiyadi).....	683
Kajian Konsep Penilaian Kinerja Pembangunan Infrastruktur Berbasis Mitigasi Bencana dan Berwawasan Lingkungan (Elizar).....	690
Implementasi Total Quality Management (TQM) di Industri Konstruksi di Indonesia (Farida Rachmawati) .....	698
Model Kebutuhan Tulangan Sloof Beton Bertulang pada Konstruksi Bangunan Gedung Berlantai Dua (Mubarak, Tripoli, Muhariz Azmi, Cut Annisa) .....	705
Analisis Keterlambatan Akibat Pengelolaan <i>Shop Drawing</i> dan <i>As Build Drawing</i> pada Pembangunan Gedung 16 Lantai (Afan Prasetya Wibawa dan Trijeti) .....	716
Analisis Biaya dalam Siklus Hidup Rumah Susun (Albani Musyafa') .....	724
Faktor-faktor yang Mempengaruhi Waktu Pelaksanaan Rekonstruksi Rumah Pascabencana Gempa Bumi (Nurul Malahayati, Munirwansyah, Mochammad Afifuddin, Syamsidik).....	741
Kajian Penerapan Komponen Biaya K3 pada Rencana Anggaran Biaya Proyek Konstruksi Gedung di Aceh (Cut Zukhrina Oktaviani, Nurisra, Nurnazli Auliani) .....	749
Analisis Produktivitas Tenaga Kerja Pekerjaan Pemasangan Ubin Keramik dengan Menggunakan Metode MPDM (Adityawan Sigit dan Ilma Alfianarrochmah).....	755
Faktor-faktor Kemampuan Pemasaran dan Penawaran yang Mempengaruhi Daya Saing Kontraktor (Nurisra dan Mahmuddin).....	765

## Kuantifikasi Pasokan Redaman Pendisipasi Energi Metal

Junaedi Utomo<sup>1</sup>, Muslinang Moestopo<sup>2</sup>, Adang Surahman<sup>2</sup>, Dyah Kusumastuti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil– Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 43, Yogyakarta.

Email: [jun.utomo@gmail.com](mailto:jun.utomo@gmail.com)

<sup>2</sup>Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan – Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganessa 10, Bandung.

Email: [mmoestopo@gmail.com](mailto:mmoestopo@gmail.com), [adangsur@ganessa.itb.ac.id](mailto:adangsur@ganessa.itb.ac.id), [dkusumastuti@si.itb.ac.id](mailto:dkusumastuti@si.itb.ac.id)

### ABSTRAK

Pada bangunan dengan sistem disipasi energi pasif, sebagian besar input energi gempa yang masuk ke dalam bangunan didisipasi oleh pendisipasi energi terpasang. Pendisipasi energi metal mendisipasi energi gempa melalui aksi inelastik/kelelahan metal. Pasokan redaman viskos dari pendisipasi metal naik saat pendisipasi energi metal mengalami aksi inelastik. Hasil kajian numerik menunjukkan nilai redaman bukan merupakan besaran konstan. Disamping nilai redaman yang tidak konstan, pola pasokan redaman akibat beban yang berbeda juga tidak sama. Empat beban geser siklis, yang mewakili gempa ekstrem, dipakai untuk kuantifikasi pasokan redaman. Empat kurva histeretik hasil uji eksperimental pendisipasi energi metal dipakai untuk kuantifikasi pasokan redaman. Pasokan redaman dari pendisipasi energi metal menentukan efektifitas disipasi energi dari pendisipasi energi metal yang bersangkutan. Bila sebagian besar input energi gempa dapat didisipasi melalui aksi inelastik maka komponen-komponen struktur dan nonstruktur lain di dalam sistem terlindungi terhadap kerusakan akibat gempa.

Kata kunci: Aksi inelastik, disipasi energi, geser siklis, kurva histeretik, redaman viskos.

#### 1. PENDAHULUAN

Pendisipasi energi dirancang untuk menimbulkan gangguan menguntungkan terhadap aliran input energi gempa di dalam struktur agar respon struktur terkontrol dan struktur tidak mengalami deformasi lateral berlebihan. Proteksi pasif terhadap struktur bangunan terjadi akibat aksi inelastik dari pendisipasi energi metal. Saat terjadi aksi inelastik, energi gempa di dalam bangunan didisipasi dan pasokan redaman ke dalam bangunan naik. Besar pasokan redaman menentukan kinerja disipasi energi dari pendisipasi energi yang bersangkutan sehingga besar pasokan redaman perlu dikuantifikasi. Dalam makalah ini, data hasil uji eksperimental dari pendisipasi kombinasi pipa baja horiaontal dan tiga ring baja di luar pipa akan dipakai untuk melakukan kuantifikasi pasokan redaman. Kinerja disipasi energi dari pendisipasi energi yang bersangkutan dapat diketahui dari hasil kuantifikasi pasokan redaman.

#### 2. SISTEM DISIPASI ENERGI PASIF DAN KESETIMBANGAN ENERGI

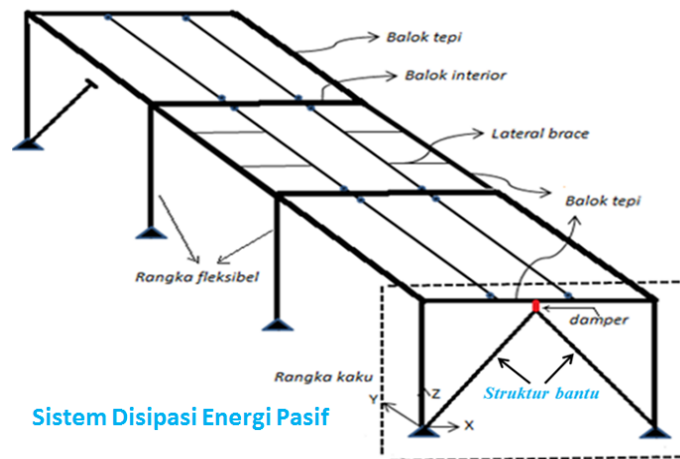
Konsep sistem disipasi energi pasif dari Akiyama (1998) adalah kombinasi rangka fleksibel dan kaku (*flexible-stiff mixed structure*) yang membentuk sistem ganda (**Gambar 1**). Pendisipasi energi (*dampner*) memerlukan struktur bantu di dalam rangka kaku. Pendisipasi energi ditempatkan pada daerah yang mengalami deformasi besar sehingga efektif mendisipasi input energi gempa. Christopoulos dan Filiatraut (2006) menganalogikan konsep disipasi energi pasif aliran air hujan dalam bangunan yang ditunjukkan oleh **Gambar 2**. Saat bangunan dilanda gempa, terjadi sebagian



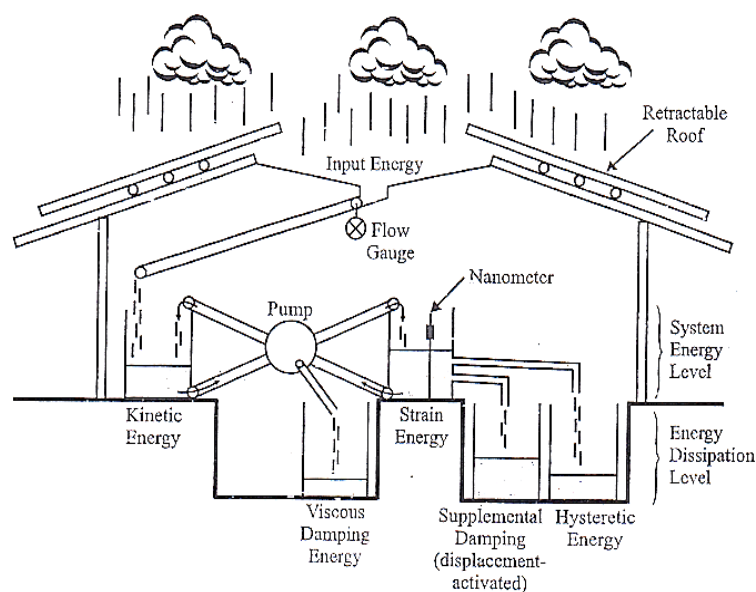
migrasi energi input gempa ke struktur (dianalogikan dengan atap bangunan yang dapat digeser-geser pada **Gambar 2**). Akibat massa struktur yang berpindah timbul energi kinetik. Saat struktur mengalami deformasi sebagian energi kinetik diubah menjadi energi regangan sehingga terjadi transfer energi kinetik ke energi regangan dan sebaliknya (dianalogikan dengan pompa pada **Gambar 2**). Bila terjadi aksi inelastik di dalam struktur maka sebagian besar input energi gempa didisipasi oleh:

1. Komponen-komponen struktur yang mengalami aksi inelastik, dan
2. Redaman yang naik akibat terjadi aksi inelastik.

Sebagian besar input energi gempa yang didisipasi dianalogikan dengan pasokan redaman (*supplemental damping*) dan energi histeretik seperti ditunjukkan oleh dua bak penampungan pada **Gambar 2**. Analogi air hujan ini pada dasarnya menjelaskan *time history* dari kesetimbangan energi dalam struktur selama durasi gempa. Kuantifikasi pasokan redaman (*supplemental damping*) menjadi fokus makalah ini.



Gambar 1. Kombinasi rangka kaku dan rangka fleksibel

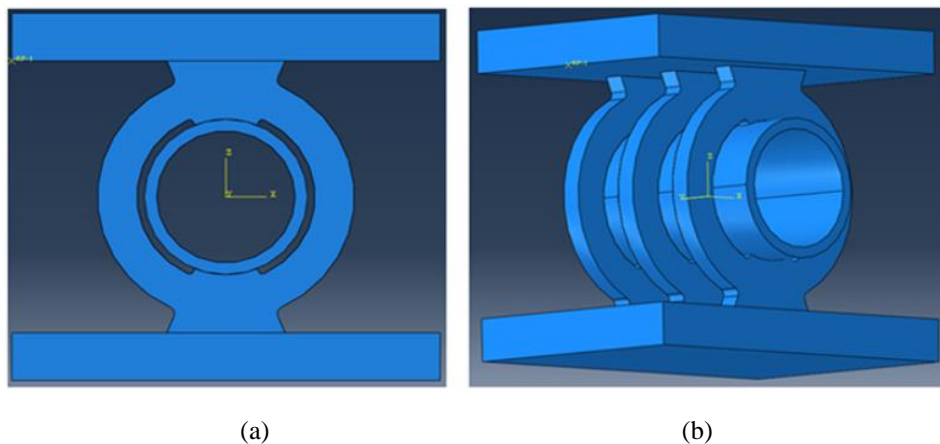


Gambar 2. Analogi aliran air hujan (Christopoulos & Filiatraut, 2006)

### Pendisipasi Energi Metal

**Gambar 3** menunjukkan pendisipasi energi kombinasi pipa baja horisontal dan tiga rings baja di luar pipa. Dimensi dari pendisipasi ini adalah: (1) Ring tebal  $t = 16$  mm, lebar  $w = 25$  mm dan tinggi  $h = 200$  mm, (2) Pipa *schedule* 80 dengan diameter  $D = 114.3$  mm, tebal  $t = 8.6$  mm dan panjang  $l = 200$  mm. Sudut-sudut tajam dihindari agar tidak terjadi konsentrasi tegangan. Empat beban geser siklis berbeda yang dianggap mewakili gempa ekstrem dikerjakan pada pendisipasi energi, yaitu:

- Beban geser siklis mengikuti protokol pembebanan *ATC-24*.
- Beban geser siklis dengan amplitudo meningkat sebesar  $2x$  perpindahan leleh ( $\delta_y$ ) pada tiap langkah pembebanan ( $\Phi=2$ ).
- Beban geser siklis dengan amplitudo meningkat sebesar  $10x$  perpindahan leleh ( $\delta_y$ ) pada tiap langkah pembebanan ( $\Phi=10$ ).
- Beban geser siklis dengan amplitudo konstan sebesar  $30x$  perpindahan leleh ( $\delta_y$ ) pada tiap langkah pembebanan ( $\Delta=30$ ).



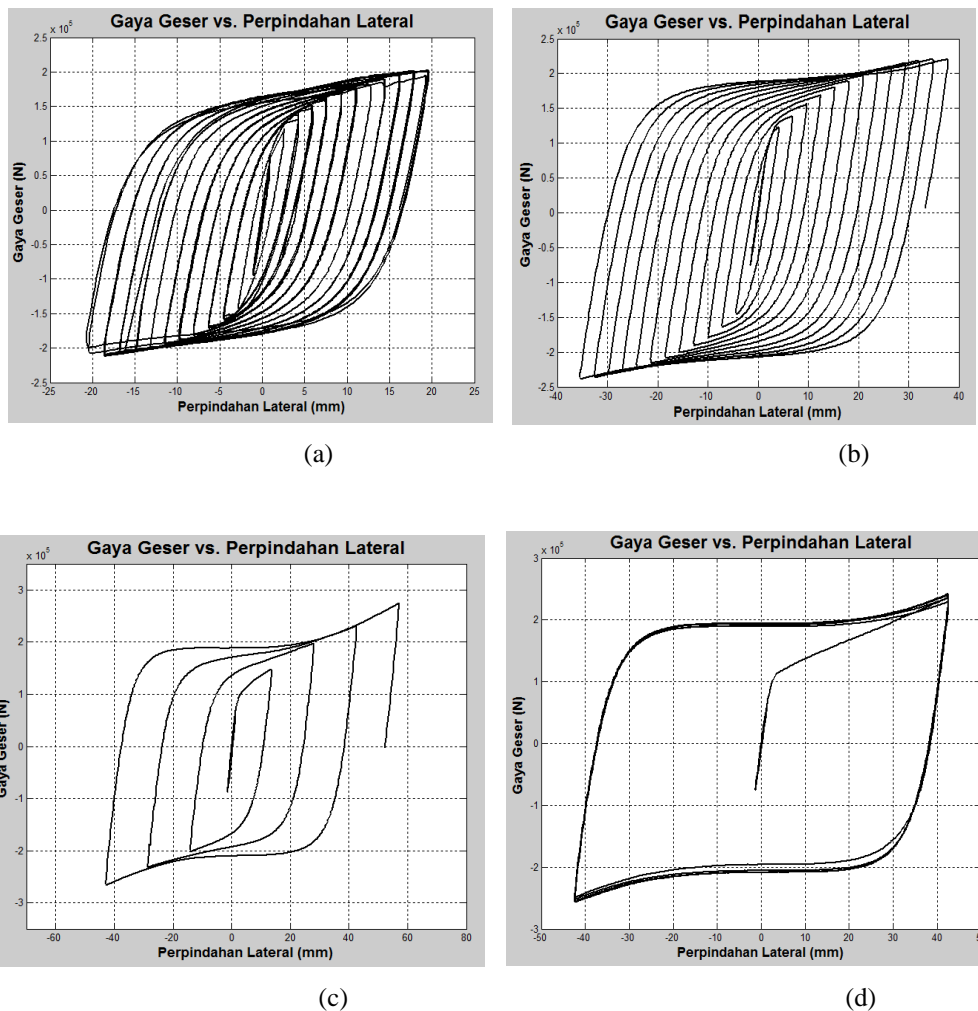
Gambar 3. Pendisipasi energi kombinasi pipa datar dan tiga ring di luar pipa: (a) Tampak depan dan (b) Tampak 3 dimensi

*Setup* benda uji pendisipasi energi kombinasi pipa horisontal dengan tiga ring di luar pipa ditunjukkan oleh Gambar 4. Dari Gambar 4 tampak bahwa pada bagian kiri dari *mounting beam* dipasang aktuator untuk memberi beban geser siklis. Empat benda uji diuji dengan empat beban geser siklis yang telah diuraikan di depan. Bagian kurva histeresis yang stabil dari hasil uji akan dipakai untuk kuantifikasi nilai redaman viskos dari pendisipasi energi. Empat kurva histeresis stabil hasil uji eksperimental pendisipasi energi ditunjukkan oleh Gambar 5. Dari empat kurva histeresis stabil pada Gambar 5 tampak bahwa:

- Kempat kurva histeresis gemuk yang menunjukkan kinerja pendisipasi energi tinggi. Luasan di dalam kurva menunjukkan kapasitas disipasi energi, semakin gemuk semakin besar kapasitas disipasi energinya.
- Pola ke empat kurva histeresis akibat empat beban geser siklis berbeda. Pola kurva histeresis menunjukkan respon pendisipasi terhadap beban geser siklis yang bekerja. Diharapkan pendisipasi energi ini mampu mendisipasi energi dari berbagai gempa besar.



Gambar 4. *Setup* benda uji pendisipasi energi pipa datar dengan perkuatan tiga ring di luar pipa.



Gambar 5. Hasil uji benda uji pendisipasi energi kombinasi pipa horissontal dan tiga ring di luar pipa: (a) *ATC 24*, (b)  $\Phi=2$ , (c)  $\Phi=10$  dan (d)  $\Delta=30$ .

**Kuantifikasi Pasokan Redaman Viskos Ekuivalen**

Gambar 6 menunjukkan redaman viskos ekuivalen dari disipasi energi histeretik yang disederhanakan. Chopra (1995), menggunakan Gambar 6, menghitung redaman viskos ekuivalen dengan menyamakan energi histeretik yang didisipasi oleh satu siklus vibrasi dari struktur sesungguhnya dengan satu siklus vibrasi sistem viskos ekuivalen sebagai berikut:

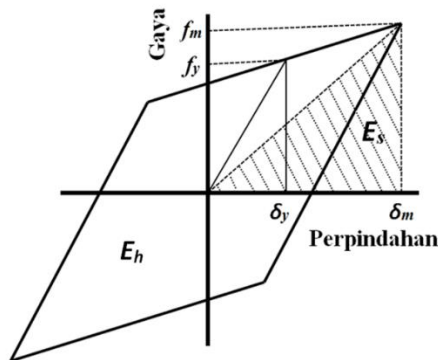
$$\xi = \frac{1}{4\pi} \frac{E_h}{E_s} \tag{I}$$

dengan:

$\xi$  adalah redaman viskos ekuivalen.

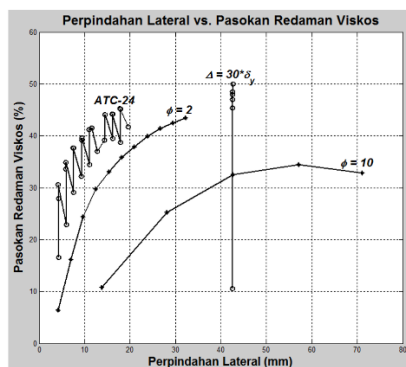
$E_h$  adalah luas dari *hysteretic loop* (Gambar 6). Luasan ini menunjukkan energi histeretik yang disipasi oleh struktur.

$E_s$  adalah luas daerah yang diarsir (Gambar 6). Luasan ini menunjukkan energi regangan dari sistem viskos ekuivalen.



Gambar 6. Redaman viskos ekuivalen dari disipasi energi histeretik (Chopra, 1995)

Gambar 7 menunjukkan riwayat pasokan redaman viskos ekuivalen pendisipasi energi kombinasi pipa horisontal dan tiga ring di luar pipa terhadap empat beban geser siklis berbeda. Data diskrit dari empat kurva histeresis pada Gambar 5 terdiri dari kumpulan titik dalam sistem koordinat perpindahan dan gaya. Masing-masing siklus dari kurva histeresis dapat dipisahkan sehingga dapat diperoleh nilai  $E_h$  dan  $E_s$  dari masing-masing kurva dan nilai redaman viskos ekuivalen  $\xi$  masing-masing kurva dengan persamaan (I). Luasan tertutup yang dibentuk oleh sekumpulan titik dari tiap kurva histeresis yaitu  $E_h$  dapat dihitung dengan cepat memakai fungsi *polyarea* dari MATLAB.

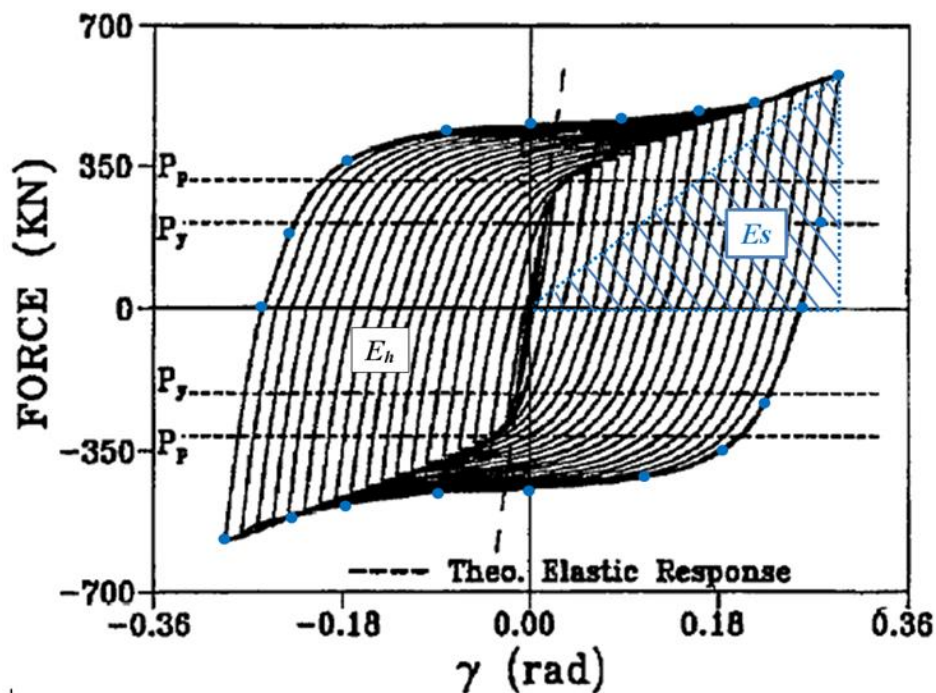


Gambar 7. Pasokan redaman viskos ekuivalen pendisipasi energi kombinasi pipa horisontal dan tiga ring di luar pipa.

Dari Gambar 7 tampak bahwa pasokan redaman viskos ekivalen tidak konstan dengan pola pasokan yang berbeda akibat masing-masing beban geser siklis. Pasokan redaman mengikuti distribusi dan jumlah siklus plastis. Pasokan redaman maksimum akibat beban geser siklis dengan amplitudo konstan ( $\Delta = 30\delta_y$ ) lebih besar dari tiga beban geser siklis lain (50 %). Rata-rata pasokan redaman viskos ekivalen dari tiga beban *ULCF* lain (*ATC-24*,  $\Phi = 2$  dan  $\Phi = 10$ ) adalah sekitar 43 % yang menunjukkan efektifitas didisipasi energi gempa.

### 3. PERBANDINGAN PASOKAN REDAMAN DENGAN PENDISIPASI ENERGI METAL LAIN

Untuk mengetahui kapabilitas disipasi energi dari pendisipasi energi kombinasi pipa horisontal dan tiga ring di luar pipa, pasokan redaman viskos ekivalen pendisipasi energi akan dibandingkan dengan pasokan redaman viskos dari ekivalen pendisipasi energi *T-ADAS* (yang sudah dikenal handal dan telah diproduksi komersial). Kurva histeresis hasil uji *T-ADAS* ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Kurva histeresis *T-ADAS* (Tsai dkk, 1993)

Nilai pasokan redaman dikuantifikasi berdasar kurva terluar. *Sampling* 20 titik dilakukan pada kurva histeresis *T-ADAS* dan ditunjukkan pada Gambar 8. Fungsi *polyarea* dari MATLAB dipakai untuk menghitung luas poligon tertutup ( $E_h$ ) yang dibentuk oleh 20 titik hasil *sampling* sehingga diperoleh:

- Nilai  $E_s = 82.94$  (luas segitiga yang diarsir)
- Nilai  $E_h = 446.135$  (luas kurva histeresis terluar)
- $\xi = \frac{1}{4\pi} \frac{E_h}{E_s} = 0.428$  (42.8%)

Pasokan redaman dari pendisipasi energi *T-ADAS* praktis sama dengan pendisipasi energi kombinasi pipa horisontal dan tiga ring di luar pipa. Dari komparasi pasokan redaman kedua pendisipasi energi dapat disimpulkan bahwa pendisipasi energi kombinasi pipa horisontal dan tiga ring di luar pipa adalah pendisipasi energi seismik yang handal.

#### **4. KESIMPULAN**

Kuantifikasi pasokan redaman viskos pendisipasi energi metal dapat dilakukan melalui kurva histeresis hasil uji eksperimental. Empat kurva histeresis dari empat beban geser siklis yang dirancang untuk mewakili gempa ekstrem menghasilkan pasokan redaman viskos dengan besaran dan pola yang berbeda. Semakin besar aksi inelastik yang dialami oleh pendisipasi energi maka pasokan redaman viskos pendisipasi energi juga semakin besar. Untuk pendisipasi energi kombinasi pipa baja horisontal dan tiga ring baja di luar pipa, kuantifikasi pasokan redaman viskos menghasilkan nilai redaman 43% yang setara dengan pasokan nilai redaman viskos pendisipasi energi baja *T-ADAS* yang telah terbukti keandalannya.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Akiyama, H. (1998): A prospect of future earthquake resistant design, *Engineering Structures*, Vol 20, Nos 4-6, 447-451.
- Christopoulos, C. & Filiatrault, A. (2006): *Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation*, IUSS Press, Parvia-Italy.
- Chopra, A.K. (1995): *Dynamic of Structures: theory and application to earthquake engineering*, Edisi pertama, Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Tsai, K.C., Chen, H.W., Hong, C.P., dan Su, Y.F. (1993): Design of Steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction, *Journal of Earthquake Spectra*, 505-528.