



ISSN 2985-7007



# PROSIDING KoNTeks16

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke - 16

*"Resilience of Construction Industry In Post - Pandemic Era"*

GRAND INNA KUTA - BALI,  
27-28 OKTOBER 2022



DI DUKUNG OLEH



EDITOR : PUTU IKA WAHYUNI

VOLUME 16





ISSN 2985-7007

# PROSIDING

# KONTeks16

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke - 16

*"Resilience of Construction Industry In Post - Pandemic Era"*



EDITOR : PUTU IKA WAHYUNI

GRAND INNA KUTA - BALI,  
27-28 OKTOBER 2022



## PROSIDING

### Editor

Dr. Ir. Putu Ika Wahyuni, S.T., M.Si., M.T., IPM., ASEAN. Eng  
Dr. Ir. Hermawan, S.T., M.T.  
Kadek Windy Candrayana, S.T., M.T.  
Ir. I Wayan Gde Erick Triswandana, S.T., M.T.  
I Putu Pranayoga Aditya  
I Made Wahyu Anom Pramesti  
I Kadek Adhitya Wiguna  
Kadek Yonas Prameira

Universitas Warmadewa  
Unika Soegijapranata  
Universitas Warmadewa  
Universitas Warmadewa  
Universitas Warmadewa  
Universitas Warmadewa  
Universitas Warmadewa  
Universitas Warmadewa

### Design Prosiding

I Made Surya Sukma Mahardhika, S.Kom., M.M

Universitas Warmadewa

### Alamat

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Perencanaan  
Universitas Warmadewa  
Jl. Terompong No. 24 Sumerta Klod, Kecamatan Denpasar  
Timur, Kota Denpasar, Bali 80235  
No. Telp : (+62) 361 - 223858  
Website : <http://www.konteks.web.id/>  
Email : [konteks16@gmail.com](mailto:konteks16@gmail.com)

### Komite Ilmiah

Ir. AY. Harijanto Setiawan, M.Eng., Ph.D.  
Ferianto Raharjo, S.T., M.T.

### Penerbit

ITB Press  
Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Provinsi Jawa Barat, 40132  
e-mail: [office@itbpress.id](mailto:office@itbpress.id)  
Website: [www.itbpress.id](http://www.itbpress.id)



# KoNTeks16

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke - 16

*"Resilience of Construction Industry In Post - Pandemic Era"*

## KONSORSIUM PENYELENGGARA



## PANITIA PENYELENGGARA



## DIDUKUNG OLEH



## DISPONSORI OLEH





## SUSUNAN KEPANITIAAN

### KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL KE-16

- Pengarah** : Prof. Dr. Ir. I Wayan Runa, M.T (Universitas Warmadewa)  
Dr. Ir. I Gusti Agung Putu Eryani, M.T. (Universitas Warmadewa)  
Dr. Ir. I Nengah Sinarta, S.T., M.T., IPM (Universitas Warmadewa)  
Ir. Cokorda Agung Yujana, M.T., IPM (Universitas Warmadewa)
- Ketua Panitia** : Dr. Ir. Putu Ika Wahyuni, S.T, M.Si, M.T.,IPM (Universitas Warmadewa)
- Sekretaris** : Ir. I Wayan Gde Erick Triswandana, S.T., M.T. (Universitas Warmadewa)
- Bendahara** : Ir. Ni Made Widya Pratiwi, S.T., M.T. (Universitas Warmadewa)
- Sie Acara** : Ir. Ni Kadek Astariani, S.T., M.T (Universitas Ngurah Rai)  
Ir. A.A. Sagung Dewi Rahadiani, S.T., M.T. (Universitas Warmadewa)  
Ni Putu Silvi, S.T., M.T (Universitas Ngurah Rai)  
Putu Eka Suartawan, S.T., M.T. (Politeknik Transportasi Darat Bali)  
Budi Mardika, S.Pd., M.Pd. (Politeknik Transportasi Darat Bali)  
Anggun Prima Gilang Rupaka, S.P, M.Si (Politeknik Transportasi Darat Bali)  
Ni Putu Way Kirana Putri Utami (202061121058)  
Komang Pipin Indraswari Berata (202161121127)
- Sie Persidangan** : Ida Ayu Cri Vinantya Laksmi S.T. M.T. (Universitas Warmadewa)  
Ni Kadek Ayu Cipta Dewi (202161121126)  
Ni Putu Dea Alodya Gustafani (202061121023)  
Dewa Ayu Nyoman Sriastuti, S.T., M.T (Universitas Warmadewa)
- Sie Makalah & Percetakan** : Kadek Windy Candrayana, S.T., M.T. (Universitas Warmadewa)  
Ir. I Gusti Ngurah Eka Partama, S.T., M.Si (Universitas Ngurah Rai)  
Dr. Ni Komang Ayu Agustini S.T., M.Eng. (Universitas Warmadewa)



Aris Budi Sulisty, S.T., M.T. (Politeknik Transportasi Darat Bali)

Rahmat Ahmad, S.Pd., M.T. (Politeknik Transportasi Darat Bali)

I Putu Pranayoga Aditya (202061121092)

I Made Wahyu Anom Pramesti (202061121052)

I Kadek Adhitya Wiguna (202161121037)

Kadek Yonas Prameira (202161121032)

Sie Perlengkapan

: Ir. I Ketut Yasa Bagiarta, M.T. (Universitas Warmadewa)

Ir. I Wayan Jawat, M.T. (Universitas Warmadewa)

I Wayan Alit Setiawan, S.T. (Universitas Warmadewa)

I Made Sedana Yoga, S.Kom (Universitas Warmadewa)

Putu Prabhu Wirautama, S.T. (Universitas Warmadewa)

Ida Bagus Wira haji ST., SAg., MSi., MT (Universitas Hindu Indonesia)

I Ketut Agus Mahardika (202161121116)

Pande Made Dwi Merta Kusuma (202161121085)

Anak Agung Gede Saka Pramana Agni (202161121091)

Sie Publikasi

: Ir. Ni Komang Armaeni, S.T., M.T. (Universitas Warmadewa)

Arif Devi Dwipayana, S.T., M.M (Politeknik Transportasi Darat Bali)

Dinda One Mulyaningtyas, S.T, M.Si (Politeknik Transportasi Darat Bali)

A.A. Bagus Oka Khrisna Surya, S.T, M.Ti (Politeknik Transportasi Darat Bali)

Surya Aji Ermanto, M.Si (Politeknik Transportasi Darat Bali)

Sie Zoom & Recording

: Ir. I Gede Angga Diputera, S.T., M.T. (Universitas Mahasaraswati)

I Gede Sukayasa, S.E. (Universitas Warmadewa)

I Gede Untung Wirawan (202061121116)

Agus Arya Pramana Maharat Fortunata (202061121015)

Anak Agung Gede Saka Pramana Agni (202161121091)



I Gusti Ngurah Putra Aryawan (202161121087)

Kadek Yonas Prameira (202161121032)

Sie Pendaftaran & Sertifikat : Ida Ayu Putu Sri Mahapatni, ST., MT (Universitas Hindu Indonesia)

Ni Made Krisna Werdi, S.T., M.T. (Universitas Warmadewa)

Ni Putu Lia Nita Rahayu, S.T. (Universitas Warmadewa)

I Putu Aris Suardimas Pradnya Winata (202161121013)

Silvia Angelina Kurniawan (202161121017)

Sie Designer : Ir. I Putu Agus Putra Wirawan, S.T., M.T. (Universitas Mahasaraswati)

I Made Surya Sukma Mahardika, S.Kom., M.M. (Universitas Warmadewa)

Ir. I Wayan Muliawan, M.T. (Universitas Warmadewa)

Sie Konsumsi dan Upakara : Ir. Anak Agung Rai Asmani K., M.T. (Universitas Warmadewa)

Dwi Wahyu Hidayat, S.T., M.T. (Politeknik Transportasi Darat Bali)

Putu Ayu Govika Krisna D. S.E., M.M. (Politeknik Transportasi Darat Bali)

Dr. Made Novia Indriani, S.T., M.T (Universitas Hindu Indonesia)

Ni Luh Putu Andayani, S.H. (Universitas Warmadewa)

Ni Putu Nivia Dewi Sukranadi, S.E. (Universitas Warmadewa)

Ni Putu Dian Hartini, A.Md (Universitas Warmadewa)

Ni Luh Gede Indah Cahyani (202161121019)

Intan Angelicca (202161121014)

Rio Putra Carmawan (202161121090)

I Made Dwi Agustadana (202161121078)

Sie Publikasi & Dokumentasi : I Made Adnyana Putra (202061121031)

I Gede Premananda Putra (202061121036)



- Sie Sponsorship : I Gusti Agung Gede Nodya Dharmastika, S.T., M.T. (Universitas Warmadewa)  
Ir. Anak Agung Gede Sumanjaya, M.T. IPM. (Universitas Warmadewa)  
Tri Hayatining Pamungkas, S.T., M.T (Universitas Ngurah Rai)  
Dr. Anak Agung Ayu Made Cahaya Wardani, S.T., M.T (Universitas Hindu Indonesia)  
Ir. I Gede Gegiranang Wiryadi, ST, MT (Universitas Mahasaraswati)
- Sie Komite Ilmiah : Ir. AY. Harijanto Setiawan, M.Eng., Ph.D. (Universitas Atma Jaya Yogyakarta)  
Ferianto Raharjo, S.T., M.T. (Universitas Atma Jaya Yogyakarta)
- Pengelola Website : Dr. Ir. Hermawan, ST., MT. (Unika Soegijapranata)  
Alfredo Tjokrohadi (Unika Soegijapranata)  
Eldisya M. Jebatu (Unika Soegijapranata)  
Benny Ardhi Nugroho (Unika Soegijapranata)  
Christopher Aditya Cahya Dewata (Unika Soegijapranata)  
Antonius Erland Hendyayoga (Unika Soegijapranata)
- Reviewer : Dr. Ir. I Nengah Sinarta, S.T., M.T, IPM, A.Eng  
Ida Bagus Rai Widiarsa.ST.MAsc., Ph.D  
Dr. Andy Prabowo, S.T., M.T  
Dr. Lisa Oksri Nelfia, ST, MT, MSc  
Vienti Hadsari,PhD  
Made Dodiek Wirya Ardana, ST, MT  
Dr.techn. Indra Noer Hamdhan, S.T., M.T.  
Dr. Yuki Achmad Yakin, M.T.  
Dr. Galuh Crismaningwang, S.T., M.T  
Dr. A'azokhi Waruwu, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Efendhi Prih Raharjo, CIAR, CIRR, S.T., S.S.iT, M.T.  
Dr. Imam Basuki



Dr. J Dwijoko Ansusanto

Dr. I Made Agus Ariawan, ST, MT

Dr. Ir. Dwi Prasetyanto, M.T.

Dr. Ir. Herman, M.T.

Prof. Ir. Leksmono S.P., M.T., Ph.D

Dr. Ir. I Made Sastra Wibawa, M.Erg

Dr. Ir. I Gusti Agung Putu Eryani, M.T

Dr. Ir. I Made Nada, M.Si

Dr.Ing. Agustina Kiky

I Putu Gustave Suryantara P. ST, M.Eng. PhD

Yessi Nirwana Kurniadi, S.T., M.T., Ph.D.

Dr.Eng. Fitri Suciaty, S.Si., M.Si.

Dr. Ir. Wati A. Pranoto, M.T

Dr. Ir. Putu Ika Wahyuni, ST, M.Si, MT, IPM, Asean.Eng

AY. Harijanto Setiawan, PhD

Dr. Ir. Nyoman Yudha Astana, MT.

Dr. Ir. Henny Wiyanto, M.T.

Dr. Ir. Hermawan, S.T., M.T.

Dr.Ir.Darmawan Pontan, SE., MT., M.M.

Kadek Diana Harmayani, ST, MT., Ph.D

Dr. Ir. Djoko Suwarno, M.Si.



ISSN 2985-7007

## DAFTAR ISI

<b>Editor Prosiding</b>	<b>ii</b>
<b>Prakata Editor</b>	<b>iii</b>
<b>Penyelenggara</b>	<b>iv</b>
<b>Kepanitiaan</b>	<b>v</b>
<b>Daftar Reviewer</b>	<b>viii</b>
<b>Daftar Isi</b>	<b>x</b>
<b>Pembicara Kunci</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Makalah</b>	
<b>A. Geoteknik</b>	<b>xvii</b>
<b>B. Struktur</b>	<b>xviii</b>
<b>C. Material</b>	<b>xx</b>
<b>D. Transportasi</b>	<b>xxii</b>
<b>E. Manajemen Konstruksi</b>	<b>xxiv</b>
<b>F. Keairan</b>	<b>xxvi</b>
<b>G. Infrastruktur dan Lingkungan</b>	<b>xxvii</b>
<b>Makalah</b>	
<b>A. Geoteknik</b>	<b>1</b>
<b>B. Struktur</b>	<b>191</b>
<b>C. Material</b>	<b>401</b>
<b>D. Transportasi</b>	<b>580</b>
<b>E. Manajemen Konstruksi</b>	<b>803</b>
<b>F. Keairan</b>	<b>1179</b>
<b>G. Infrastruktur dan Lingkungan</b>	<b>1342</b>



## DAFTAR MAKALAH

### GEOTEKNIK

GT-17	PENGARUH GEMPA TERHADAP STABILITAS LERENG DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA DI KABUPATEN DONGGALA	1
GT-18	NILAI RESISTIVITAS DAN STRUKTUR BATUAN VULKANIK PASCA GEMPA DI KALDERA GUNUNG BATUR SERTA USAHA MITIGASI	11
GT-19	KAJIAN LONGSOR LERENG KEBUN KOPI KM 41+881 DAN KM 42+163 DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA	19
GT-20	POTENSI LIKUEFAKSI DENGAN ALAT SWEDISH WEIGHT SOUNDING TEST PADA KELURAHAN DUYU KECAMATAN TATANGA KOTA PALU	29
GT-21	PENENTUAN JUMLAH MESH OPTIMUM PADA PEMODELAN SAMBUNGAN BLOK MODULAR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA	40
GT-22	PEMODELAN NUMERIK PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE	46
GT-23	UJI INTERFACE GAYA GESEK TANAH DAN TIANG DENGAN PASTA FRIKSI MENGGUNAKAN GESER LANGSUNG	62
GT-24	POTENSI LIKUEFAKSI DENGAN ALAT SWEDISH WEIGHT SOUNDING TEST PADA LOKASI JALAN POROS PALU-BANGGA DESA BALIASE KABUPATEN SIGI	68
GT-25	ANALISIS STABILITAS LERENG DITINJAU MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA DI RUAS JALAN RAYA ABEPURA-SENTANI	79
GT-26	PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH PADA TANAH LEMPUNG TERHADAP NILAI INDEKS PLASTISITAS TANAH	87
GT-27	POTENSI PERKUATAN TANAH GAMBUT DENGAN PENAMBAHAN TANAH NON ORGANIK DAN SEMEN	93
GT-28	UJI CBR TANPA RENDAMAN PADA TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN GEOPOLIMER-FLY ASH	101
GT-29	EFEK PENAMBAHAN LIMBAH BAFU PADA STABILISASI LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI	109
GT-30	NEGATIVE SKIN FRICTION SUATU PELAJARAN YANG DAPAT DIPETIK	118
GT-31	PENYELIDIKAN SONDIR DI KOTA BIMA, SUMBAWA, NUSA TENGGARA BARAT	127
GT-32	PENGARUH HAMBATAN LEKAT TERHADAP DAYA DUKUNG FONDASI BANGUNAN SIPIL (STUDI KASUS HASIL SONDIR KOTA DENPASAR)	135
GT-33	ANALISIS REMBESAN AKIBAT ADANYA FLUKTUASI MUKA AIR TANAH MENGGUNAKAN PROGRAM GEO-STUDIO SEEPW 2018	142
GT-34	KORELASI TEKANAN LATERAL AKIBAT BEBAN DINAMIS DENGAN KECEPATAN KONSTAN KENDARAAN DIBANDINGKAN DENGAN BEBAN STATISNYA	150
GT-35	KARAKTERISTIK MEKANIK TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI SECARA FISIS MENGGUNAKAN CAMPURAN BOTTOM ASH DAN FLY ASH	158
GT-36	APLIKASI PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG MENGGUNAKAN DATA SPT BERBASIS MIT APP INVENTOR	166
GT-37	REFRACTION SEISMIC INTERPRETATION TO DETERMINE ROCK LITHOLOGY	173
GT-38	PENGARUH GRID HEXAGONAL SEBAGAI LAPIS PONDASI	178
GT-39	DINDING PENAHAN TANAH SEBAGAI UPAYA MITIGASI BENCANA TANAH LONGSOR	184



## STRUKTUR

ST-20	ANALISIS KERUSAKAN STRUKTUR PELAT ATAP STUDI KASUS GEDUNG E UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH KALIMANTAN TIMUR	191
ST-21	KAPASTIAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN GFRP U-WRAPPING MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA	201
ST-22	SANALISIS KINERJA YIELD-LINK SAMBUNGAN BAJA TERPRAKUALIFIKASI SIMPSON STRONG-TIE STRONG FRAME DENGAN METODE ELEMEN HINGGA	209
ST-23	ANALISIS KINERJA HOLLOW CORE SLAB PRECAST DENGAN VARIASI BENTUK LUBANG MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA	220
ST-24	EVALUASI STRUKTUR DAN ANALISIS PUSHOVER GEDUNG Z SESUAI DENGAN SNI 1726 2012 DAN SNI 1726 2019	227
ST-25	RESPON STRUKTUR BERTINGKAT DENGAN VARIASI DIMENSI KOLOM AKIBAT BEBAN GEMPA BERBAGAI FREKUENSI	234
ST-27	EVALUASI RELIABILITAS JEMBATAN STANDAR RANGKA BAJA AKIBAT BEBAN LALU LINTAS HASIL PENGUKURAN B-WIM	242
ST-28	MENGENAL METODE-METODE PERHITUNGAN KEKUATAN PENAMPANG ELEMEN STRUKTUR BAJA CANAI DINGIN (COLD-FORMED)	252
ST-29	ANALISIS RESPON DINAMIK STRUKTUR TERHADAP KARAKTERISTIK GEMPA YANG BERBEDA DENGAN METODE RIWAYAT WAKTU (TIME HISTORY)	262
ST-30	KUALITAS HASIL PRODUKSI INDUSTRI PAVING BLOCK DI KOTA PALU	263
ST-31	ANALISIS KUAT TEKAN BETON NORMAL TERHADAP PENAMBAHAN ADDITIVE BESTMITTEL	272
ST-32	PERILAKU MEKANIK PANEL KOMPOSIT BETON RINGAN (LIGHTWEIGHT CONCRETE) PREFABRIKASI PADA PEMBEBAHAN AXIAL	282
ST-33	PENGARUH FAKTOR GEMPA TERHADAP STRUKTUR ABUTMENT	290
ST-34	ANALISIS DAN DESAIN DIAFRAGMA BUKAAN LEBAR PADA BANGUNAN GEDUNG BETON BERTULANG 1	297
ST-35	PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH TETES TEBU TERHADAP KUAT TEKAN BETON	306
ST-36	PENGARUH VARIASI JARAK TULANGAN SENGGANG KONTINU DENGAN TULANGAN TEKAN TUINGGAL TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON	311
ST-37	ANALISIS KONSTRUKSI BERTAHAP STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN PENAMBAHAN DINDING PENGISI MENGGUNAKAN SHELL ELEMENT	320
ST-38	PERILAKU DINAMIS STRUKTUR IREGULER L BETON BERTULANG DENGAN VARIASI RASIO KELANGSINGAN STRUKTUR	330
ST-39	ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT SISTEM GANDA BERDASARKAN SNI 1726-2019	339
ST-40	PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH TETES TEBU TERHADAP WAKTU IKAT (Setting Time) SEMEN	351
ST-41	ANALISIS MUTU PADA STRUKTUR KOLOM DAN TINGKAT KERUSAKAN DINDING BESERTA METODE PERBAIKAN	356
ST-42	STRUCTURAL DAMAGE DETECTION OF TWO-DIMENSIONAL FRAME USING MODE SHAPE CURVATURE METHODS	366
ST-43	EFISIENSI DIMENSI KOLOM PADA STRUKTUR GEDUNG TUJUH TINGKAT DENGAN PENAMBAHAN WING WALL	374



ST-44	KOMPARASI MODEL DAN UJI EKSPERIMEN PERILAKU ELASTOPLASTIS STRUKTUR YANG DIBEKANI LENTUR DAN TORSI	384
ST-45	TINJAUAN PERENCANAAN BOX CULVERT PADA LANDASAN PACU (RUN WAY) TORAJA AIRPORT	391



## MATERIAL

MT-8	OPTIMASI PEMAKAIAN SERAT ROSELLA PADA BETON DENGAN VARIASI MAKSIMUM UKURAN AGREGAT 10 MM, 15 MM, 25 MM	401
MT-9	ANALISIS HUBUNGAN ANTARA TINGGI DAN DIAMETER BENDA UJI KAYU GALAM TERHADAP KUAT TEKAN	407
MT-10	PENGARUH RENDAMAN AIR SUNGAI MAHAKAM PADA ASPAL BETON (AC-WC) TERHADAP KARAKTERISTIK PENGUJIAN MARSHALL TEST	415
MT-11	PEMANFAATAN ABU LIMBAH KULIT GALAM SEBAGAI PENGGANTI SEMEN DALAM CAMPURAN BETON	421
MT-12	EVALUASI MOISTURE SENSITIVITY CAMPURAN ASPAL HANGAT SKALA MASTIC DENGAN ADITIF ANTISTRIPPING WETFIX BXE	427
MT-13	PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH DAN ABU DAUN BAMBU TERHADAP KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER	436
MT-14	PENCEGAHAN KOROSI PADA SEA WATER MIXED MORTAR DENGAN BAHAN IKAT PORTLAND POZZOLAN CEMENT (PPC)	444
MT-15	ANALISIS PERBANDINGAN EVALUASI MATERIAL KONSTRUKSI GREEN BUILDING MENGGUNAKAN GREENSHIP VERSI 1.2 DAN EDGE VERSI 3.0	453
MT-16	PENGARUH PENGGUNAAN CARBON NANOTUBE (CNT) TERHADAP KINERJA BETON	462
MT-17	PEMERIKSAAN KUAT TEKAN BATA RINGAN DI KOTA SAMARINDA DENGAN BENDA UJI KUBUS	468
MT-18	ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN FOAM AGENT SINTETIS DAN FOAM AGENT NABATI TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR BUSA	474
MT-19	PENGARUH PENAMBAHAN EKSTRAK LIMBAH SAYURAN DAN ADMIXTURE DAMDEX TERHADAP KUAT TEKAN BETON PADA METODE SELF HEALING CONCRETE	480
MT-21	ANALISIS KUAT TARIK BELAH BETON DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT BUAH PINANG DAN WATERGLASS	491
MT-22	PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH LOW DENSITY POLYETHYLENE DAN ABU CANGKANG KEMIRI DALAM CAMPURAN ASPAL AC-WC	497
MT-23	ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN KARET ALAM TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON	506
MT-24	KOMPARASI PENGGUNAAN ADDITIVE TERHADAP KUAT TEKAN PASTA SEMEN UNTUK GROUTING DUCTING PRESTRESS	512
MT-26	BLOK PLASTIK BAHAN PASANGAN DINDING (BPBPD) MENGGUNAKAN MINYAK JELANTAH DAN PLASTIK TIPIS BEKAS KEMASAN	517
MT-27	PENGARUH AIR LAUT PADA KUAT TEKAN DAN ABSORPSI BETON	523
MT-28	PENGARUH PENGGUNAAN SERAT KAWAT BENDRAT TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON NORMAL	539
MT-29	PEMANFAATAN SISA PRODUKSI BATU ONYX UNTUK PENAMBAH PASIR SEBAGAI CAMPURAN ASPAL PADA PERKERASAN JALAN	534
MT-30	PENGARUH PAPAN HIDROGEN SULFIDA (H <sub>2</sub> S) TERHADAP KUAT TEKAN PADA BETON DI LINGKUNGAN GEOTHERMAL	548
MT-31	ANALISIS KUAT TEKAN BETON MENGGUNAKAN LIMBAH CIRCUM SLAG SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS	555



MT-32	<b>KAJIAN-KEPADATAN-DAN-NILAI-PORI-RAP-PADA-LAPIS-HRS-DENGAN-PEMANFAATAN-OLI-BEKAS</b>	564
MT-33	<b>PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER PADA BETON GEOPOLIMER</b>	572



## TRANSPORTASI

TR-12	FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB KURANGNYA MINAT PELAJAR DALAM PENGGUNAAN BUS TRANS JOGJA	580
TR-13	THE ANALYSIS OF THE CHECK-IN COUNTER LEVEL OF SERVICE AT SULTAN SYARIF QASIM II AIRPORT-PEKANBARU	590
TR-14	ANALISIS TARIF ANGKUTAN UMUM TEMAN BUS YOGYAKARTA BERDASARKAN BIAYA OPERASIONAL KENDARAAN	596
TR-16	EFEKTIVITAS KEBERADAAN RUANG PARKIR RUMAH MAKAN AYAM KALASAN JOGJA DI KOTA PALU	604
TR-17	PENILAIAN PERJALANAN BELANJA ONLINE MASYARAKAT KECAMATAN PALU TIMUR BERDASARKAN WAKTU TEMPUH DAN BIAYA	613
TR-18	EVALUASI KINERJA DAN PERSEPSI PENUMPANG TERHADAP OPERASIONAL BUS PADA TERMINAL MENGWI BADUNG- BALI	622
TR-19	STUDI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN BATU KAPUR SEBAGAI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN ASPAL CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)	630
TR-20	ANALISIS TARIF SHUTTLE BUS RUTE JOGJA SEMARANG BERDASARKAN BIAYA OPERASIONAL KENDARAAN	637
TR-21	TRANS JOGJA SEBAGAI PENDUKUNG MOBILITAS PELAJAR DI YOGYAKARTA	645
TR-22	PEMODELAN SIMPANG TIDAK SEBIDANG GASIBU KOTA BANDUNG BERBASIS DRONE MAPPER	652
TR-23	STUDI POTENSI JARINGAN ANGKUTAN UMUM DAN AKSESIBILITAS MODA KAWASAN DI SEKITAR KORIDOR LRT JABODEBEK	661
TR-24	EVALUASI KONDISI RUAS JALAN TOMANG RAYA DENGAN METODE IRAP UNTUK MENCAPI STAR RATING 4 DAN 5	669
TR-25	ANALISIS EVALUASI TARIF BERDASARKAN BIAYA OPERASIONAL KENDARAAN PADA BUS ANTAR KOTA DALAM PROVINSI RUTE PALANGKARAYA PANGKALANBUN	678
TR-26	KAJIAN PENGEMBANGAN UNDERPASS PADA SIMPANG SANUR DI KOTA DENPASAR	684
TR-27	EVALUASI PELAYANAN KERETA API BANDAR UDARA BERDASARKAN STANDAR PELAYANAN MINIMUM (SPM)	692
TR-29	ANALISIS KETAHANAN TERHADAP PELEPASAN BUTIR PADA ASPAL EMULSI YANG MENGANDUNG BUTON GRANULAR ASPHALT (BGA)	699
TR-30	KINERJA KAPASITAS LALU LINTAS JALAN MUSTIKA JAYA BEKASI DIPENGARUHI OLEH HAMBATAN SAMPING JALAN	706
TR-31	ANALISA KELAYAKAN TARIF ANGKUTAN UMUM KOTA JAYAPURA	711
TR-32	ANALISIS DAN EVALUASI KUALITAS PELAYANAN FASILITAS RANGKAIAN KERETA PADA KRL	716
TR-33	ANALISIS DAN EVALUASI KUALITAS PELAYANAN FASILITAS PRASARANA PARK AND RIDE PADA KRL COMMUTER LINE DI STASIUN KOTA BEKASI	726
TR-34	STUDI ANALISIS TINGKAT KEBISINGAN PADA KAWASAN SIMPANG TOHPATI DENPASAR BALI	736
TR-35	ANALISIS KUALITAS PELAYANAN BUS SEKOLAH DENGAN METODE QFD	743
TR-36	KAJIAN PEMILIHAN FASILITAS JALUR PEDESTRIAN SEBAGAI RUANG TERBUKA DI AREA PERKANTORAN DAN SEKOLAH PADA SUMBU FILOSOFI KOTA YOGYAKARTA	750
TR-37	EVALUASI ARUS JENUH DAN PANJANG ANTRIAN PADA SIMPANG EMPAT BERSINYAL KEUTAPANG KOTA BANDA ACEH_R1	758



TR-38	TINJAUAN FASILITAS PERLENGKAPAN JALAN PADA JALAN IMAM MUNANDAR PEKANBARU	766
TR-39	ANALISIS TINGKAT KEPUASAN PENGGUNA JASA TERHADAP KINERJA PELAYANAN TERMINAL MESRAN DI KOTA JAYAPURA	775
TR-40	KORELASI ANTARA BAN KEMPES TERHADAP MUATAN KENDARAAN (STUDI KASUS JALAN PERINTIS KEMERDEKAAN KM 12)	783
TR-41	ANALISIS PEMILIHAN MODA TRANSPORTASI DI TERMINAL MENGWI MENGGUNAKAN MODEL LOGIT	791



## MANAJEMEN KONSTRUKSI

MK-47	ANALISIS KELAYAKAN ANTARA PEMBELIAN DENGAN SEWA ALAT BERAT PADA PROYEK PLTU TANJUNG SELOR	803
MK-48	FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KINERJA TENAGA KERJA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG PADA MASA PANDEMI COVID-19	812
MK-49	ANALISIS DAMPAK PANDEMI COVID-19 TERHADAP SUPPLIER MATERIAL KONSTRUKSI DI KOTA PALU	818
MK-50	IDENTIFIKASI FAKTOR KINERJA MANDOR PADA PEMBANGUNAN KONSTRUKSI GEDUNG (UNIVERSITAS NEGERI ISLAM PALU)	827
MK-51	EFISIENSI KUANTITAS DAN BIAYA MENGGUNAKAN METODE BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) PADA PROYEK KITB III JAWA TENGAH	835
MK-52	KAJIAN PEKERJAAN KONSTRUKSI DI DINAS PEKERJAAN UMUM DAN PENATAAN RUANG (DPUPR) PROVINSI KALIMANTAN TENGAH SEBELUM, SAAT DAN SETELAH PANDEMI COVID-19	841
MK-53	IDENTIFIKASI FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI DAYA SAING KONTRAKTOR KECIL PADA INDUSTRI KONSTRUKSI DI KOTA PALU	850
MK-54	ANALISIS INVESTASI PENGEMBANGAN PROYEK PERUMAHAN DI DAERAH PURBALINGGA	859
MK-55	KONTRIBUSI LEADING DAN LAGGING INDICATORS DALAM MENINGKATKAN BUDAYA KESELAMATAN KONSTRUKSI DI INDONESIA	869
MK-56	PENJADWALAN SUMBER DAYA MANUSIA PADA PELAKSANAAN PROYEK (STUDI KASUS PROYEK GEDUNG DI YOGYAKARTA)	877
MK-57	KOMPLEKSITAS PEMODELAN DALAM SIMULASI OPERASI KONSTRUKSI KASUS PEKERJAAN CFG PILE	884
MK-58	STUDI PENDAHULUAN MENGENAI ANALISIS PRODUKTIVITAS TENAGA KERJA PADA PEKERJAAN PEMASANGAN LANTAI CONWOOD DECK 12	895
MK-59	IMPLEMENTASI PENERAPAN BIM-BASED LCA PADA PEMBANGUNAN GEDUNG	901
MK-60	KAJIAN PENERAPAN GREENROADS PADA PROYEK JALAN PERKOTAAN DI DENPASAR	908
MK-62	IMPLEMENTASI BIM PADA PEMBANGUNAN GEDUNG RUMAH SAKIT	917
MK-63	KAJIAN STRATEGI KETAHANAN INDUSTRI KONSTRUKSI PASCA PANDEMI	926
MK-64	KAJIAN PENGARUH KECELAKAN KERJA DAN KETERJANGKITAN COVID-19 TERHADAP PRODUKTIVITAS KONSTRUKSI	932
MK-65	PERAN PROJECT MANAGEMENT OFFICE DALAM SEBUAH LEMBAGA KEMENTERIAN (STUDI KASUS : DIREKTORAT JENDRAL PERKERETAAPIAN)	942
MK-66	FAKTOR PENENTU KOMPETENSI TENAGA KERJA KONSTRUKSI DALAM PROSES UJI OLEH LEMBAGA SERTIFIKASI PROFESI	949
MK-67	KAJIAN KEGIATAN REHABILITASI RUMAH TIDAK LAYAK HUNI NON KAWASAN DAN TERDAMPAK BENCANA DI KABUPATEN TANGERANG	959
MK-68	DAMPAK PERUBAHAN DESAIN TERHADAP WAKTU DAN BIAYA PROYEK STUDI KASUS PROYEK GEDUNG	968
MK-69	PENILAIAN RISIKO PENANGANAN KEBAKARAN DI KAWASAN HERITAGE KOTA LAMA SEMARANG	974
MK-71	ANALISIS RISIKO DAN RESPON RISIKO PADA PELAKSANAAN PEKERJAAN PERKERASAN JALAN DI JAYAPURA	981



MK-72	ANALISIS RISIKO PADA PRESERVASI INFRASTRUKTUR JALAN DI PAPUA DITINJAU DARI PIHAK KONSULTAN PERENCANA	989
MK-73	PENILAIAN ECOGREEN INDUSTRIAL ESTATE PEKANBARU DENGAN PERANGKAT GREENSHIP NEIGHBORHOOD VERSI 1.0	996
MK-74	KINERJA PELAKSANAAN PEMBANGUNAN GEDUNG X PADA KABUPATEN MAMASA DENGAN METODE EARNED VALUE	1006
MK-75	PENERAPAN K3 UNTUK MITIGASI KECELAKAAN KERJA MENGGUNAKAN METODE PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS (STUDI KASUS DI PROYEK RUMAH SAKIT KELUARGA SEHAT III SEMARANG)	1013
MK-76	ANALISIS INDIKATOR HIJAU PADA PEMBANGUNAN PELABUHAN MARINA DI LABUAN BAJO	1024
MK-77	MANAJEMEN RISIKO DAN STRATEGI MITIGASI RISIKO TERHADAP BIAYA PADA PROYEK PEMBANGUNAN JEMBATAN	1031
MK-78	ANALISIS FAKTOR PENYEBAB PEMBENGGAKAN BIAYA KONSTRUKSI (COST OVERRUN)	1038
MK-79	ANALISIS KELAYAKAN FINANSIAL PROYEK PADA PEMBANGUNAN PLTBN DAN PLTD SARMU 5 MW	1049
MK-80	PREFERENSI MASYARAKAT KOTA MAGELANG TERHADAP APARTEMEN BERKONSEP GREEN BUILDING PASCA PANDEMI COVID-19	1054
MK-81	PENERAPAN METODE FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (F-AHP) DALAM PEMILIHAN GREEN SUPPLIER	1061
MK-82	PREFERENSI MASYARAKAT DI KOTA TANGERANG SELATAN TERHADAP GREEN HOME PASCA PANDEMI COVID 19	1068
MK-83	MANAJEMEN RISIKO PEMBANGUNAN GEDUNG TINGGI AKIBAT SITUASI DAN KONDISI COVID-19	1075
MK-84	ANALISIS PENGHAMBAT KINERJA WASTE MANAGEMENT AKIBAT FAKTOR PEKERJA PADA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG	1081
MK-85	PERSEPSI MASYARAKAT TERHADAP PEMBANGUNAN PASAR OROBUA KABUPATEN MAMASA	1088
MK-86	BAK ADUK DAN WASHING BOX UNTUK PEKERJAAN FINISHING	1095
MK-87	IDENTIFIKASI DAN MITIGASI RISIKO PELAKSANAAN DED REVITALISASI KAWASAN DANAU BATUR, BALI	1105
MK-88	INVESTASI PERUMAHAN PURI MAHKOTA MUKTIWARI DI KABUPATEN BEKASI	1113
MK-89	ANALISIS RISIKO BIAYA DAN WAKTU AKIBAT RE_DESIGN PEKERJAAN KONSTRUKSI JALAN TOL DENGAN KONTRAK DESIGN AND BUILD (STUDI KASUS: PEMBANGUNAN JALAN TOL RUAS PEKANBARU-PADANG SEKSI BANGKINANG-PANGKALAN TAHAP 1)	1123
MK-90	PENATAAN PEDAGANG KAKI LIMA UNTUK MEWUJUDKAN JEMBER SEBAGAI KOTA DESTINASI WISATA	1134
MK-91	DAMPAK PENERAPAN MANAJEMEN PROYEK PADA PERUSAHAAN KONTRAKTOR DI KABUPATEN MAMASA	1147
MK-92	ANALISA PERBANDINGAN PERHITUNGAN BIAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE BOW, SNI, DAN AHSP STUDI DI PEMBANGUNAN RUSUN BPKP KUPANG	1155
MK-93	EVALUASI PELAKSANAAN KONSTRUKSI DARI ASPEK BIAYA DAN WAKTU DENGAN MENGGUNAKAN CRASHING METHOD	1162
MK-94	ANALISIS RISIKO LINGKUNGAN PADA PRA KONSTRUKSI PEMBANGUNAN	1172



## KEAIRAN

KA-10	IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT DI DAERAH PESISIR PANTAI MERTASARI-SANUR DENGAN METODE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING (VES)	1179
KA-11	STUDI ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI SETELAH PEMBANGUNAN PELABUHAN SANUR	1189
KA-13	OPTIMASI VOLUME TABUNG UDARA POMPA HIDRAM TERHADAP DEBIT AIR YANG DIHASILKAN	1197
KA-14	ANALISIS SIMULASI TINGGI MUKA AIR SUNGAI BANJIR KANAL TIMUR	1203
KA-15	SIMULASI POLA SEDIMENTASI WADUK LEUWIKERIS	1211
KA-16	PENGELOLAAN MATA AIR DENGAN TEKNOLOGI TEPAT GUNA HIDROPANDE	1219
KA-17	ANALISIS HIDROLOGI RANCANGAN PADA SALURAN DRAINASE DI JALAN NAGASARI PENATIH DENPASAR	1225
KA-18	STUDI KOMPERATIF METODE WEIBULL DAN METODE FISHER-TIPPET TYPE 1 DALAM MENGHITUNG GELOMBANG DI PELABUHAN DONGGALA	1235
KA-19	PEMODELAN JALUR EVAKUASI BENCANA BANJIR PADA DESA-DESA YANG BERADA DI KECAMATAN LANGSA LAMA DAN LANGSA KOTA BERBASIS SIG (SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS)	1258
KA-20	KAJIAN KAPASITAS SUNGAI KUPANG KOTA PEKALONGAN TERHADAP DEBIT BANJIR	1265
KA-21	EVALUASI KETERSEDIAAN AIR WADUK LOGUNG UNTUK IRIGASI	1276
KA-22	OPTIMALISASI AIR SUMUR DALAM DI KECAMATAN SUKODONO, KABUPATEN SRAGEN	1285
KA-23	PENENTUAN SKALA PRIORITAS REHABILITASI JARINGAN IRIGASI PADA SALURAN SEKUNDER AMBULU, KABUPATEN JEMBER	1296
KA-24	OPTIMASI DAERAH IRIGASI CIMULU BERBASIS BANGKITAN DATA	1305
KA-25	PEMETAAN GARIS PANTAI DI WILAYAH PESISIR PULAU BALI DENGAN CITRA SYNTHETIC APERTURE RADAR	1314
KA-26	SIMULASI HIDROGRAF SATUAN SINTETIS UNTUK ANALISA KAPASITAS TAMPANG SUNGAI CILOSEH	1320
KA-27	PENGARUH SEDIMENTASI TERHADAP KINERJA SALURAN D.I BILA-KALOLA DESA KALOLA KECAMATAN MANIANGPAJO KABUPATEN WAJO	1329
KA-28	SIMULASI GENANGAN AKIBAT BANJIR ROB DI PESISIR UTARA JAKARTA	1336



## INFRASTRUKTUR DAN LINGKUNGAN

LK-05	STUDI LITERATUR TENTANG SIKLUS HIDUP ENERGI DAN KARBON (LCEC) PADA SEKTOR KONSTRUKSI	1342
LK-07	ANALISIS SOSIAL EKONOMI PRASARANA PERUMAHAN KAVLING DI KAWASAN BANDUNG UTARA STUDI KASUS KAVLING GRAHA ISOLA	1350
LK-08	EVALUASI ESTIMASI EMBODIED ENERGY PADA STRUKTUR PERKERASAN JALAN FLYOVER WILAYAH MRANGGEN BERDASARKAN DUA METODE	1360



## ST-28 MENGENAL METODE-METODE PERHITUNGAN KEKUATAN PENAMPANG ELEMEN STRUKTUR BAJA CANAI DINGIN (COLD-FORMED)

Andy Prabowo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Let. Jend. S. Parman No. 1 Jakarta  
e-mail: [andy.prabowo@ft.untar.ac.id](mailto:andy.prabowo@ft.untar.ac.id)

### ABSTRAK

Dalam menghitung kekuatan elemen penampang kolom dan balok pada struktur baja canai dingin (*cold-formed steel*) dikenal beberapa istilah seperti metode lebar efektif (*effective width method*), metode kekuatan langsung (*direct strength method*), dan yang terbaru yaitu metode kekuatan menerus (*continuous strength method*). Ketiga metode ini memiliki fokus pada desain penampang elemen struktur akibat dikenai aksi tertentu (tekan atau aksial) dengan pendekatan yang berbeda. Metode pertama mengandalkan properti penampang tereduksi untuk menghitung kapasitas yang dimiliki, sedangkan metode kedua dapat lebih mudah diselesaikan menggunakan program bantu untuk menghitung kekuatan elastik tekuk (*elastic buckling analysis*) berbasis *finite strip analysis*, dan metode ketiga memerlukan model konstitutif material yang disederhanakan serta mengoptimalkan kemampuan deformasi dari elemen struktur untuk menghitung kekuatan penampang. Makalah ini bertujuan untuk membahas ketiga metode desain kekuatan elemen pada struktur baja canai dingin dengan tujuan memberikan pemahaman yang tepat agar insinyur struktur dapat melakukan perhitungan kekuatan struktur baja canai dingin dengan akurat dan relatif cepat. Selain itu, makalah ini bertujuan untuk memberi saran dan pendapat yang dapat dipertimbangkan ketika melakukan revisi peraturan baja canai dingin di Indonesia yang saat ini relatif usang dibandingkan dengan peraturan asing sejenis.

Kata kunci: *effective width method* (EWM), *direct strength method* (DSM), *continuous strength method* (CSM)

### 1. PENDAHULUAN

Elemen struktur baja canai dingin banyak digunakan sebagai komponen struktur ringan pada bangunan struktur baja, seperti pada gording penutup atap metal and balok penumpu dinding metal. Profil yang sering digunakan pada bagian struktur tersebut umumnya berbentuk profil kanal (*channel profile*) atau profil berongga (*hollow profile*). Kedua jenis profil tersebut dapat dibentuk dari lembaran plat baja dalam kondisi suhu ruangan baik dengan cara ditebuk menggunakan mesin penekan (*press-braked method*) atau dengan menggunakan seperangkat mesin penggulung (*rolled forming method*). Karena memiliki metode fabrikasi yang berbeda dengan struktur baja *hot-rolled*, desain elemen struktur baja canai dingin dibedakan dan memiliki peraturan/spesifikasi tersendiri. Saat ini, peraturan yang berlaku di Indonesia untuk menghitung kekuatan elemen struktur baja canai dingin yaitu menggunakan SNI 7971:2013, yang mengadopsi peraturan asing AS/NZS 4600:2005 dan AISI S100-07.

Kedua peraturan asing yang disebutkan digunakan khusus untuk melakukan perhitungan elemen struktur baja canai dingin di Australia (AS/NZS 4600:2005) dan di Amerika Serikat (AISI S100-07). Peraturan AS/NZS 4600 akan selalu diperbaharui mengikuti AISI S100. Saat ini kedua peraturan tersebut sudah tidak berlaku karena telah digantikan dengan edisi yang lebih baru, yaitu AS/NZS 4600:2018 dan AISI S100-2016. Pada kedua peraturan terbaru ini terdapat beberapa pemutakhiran pada metode desain elemen struktur seperti kolom dan balok, seperti telah digunakannya metode desain kekuatan langsung (*direct strength method*) secara resmi, yang selanjutnya dalam tulisan ini akan disebut sebagai metode DSM, seperti juga metode lebar efektif (*effective width method*), disingkat menjadi EWM.

Metode EWM dikembangkan oleh Prof. George Winter pada tahun 1947 melalui penelitiannya di Cornell University. Sejarah perkembangan metode EWM dapat dilihat lebih lanjut pada Yu et al. (2020). Metode DSM, yang telah dikembangkan oleh beberapa ahli semenjak kemunculan resminya di tahun 2004, telah diakomodasi sebagai metode alternatif untuk perhitungan kekuatan penampang pada peraturan AISI (Schafer, 2008). Metode ini relatif lebih sederhana dalam proses perhitungan manual apabila menggunakan program bantu yang berbasis *finite strip analysis* untuk melakukan analisis tekuk elastik (*elastic buckling analysis*). Perkembangan terakhir pada proses perhitungan berbasis metode DSM dapat dilihat pada (Schafer, 2019).

Metode yang lebih baru dari DSM dalam melakukan analisis kekuatan penampang pada struktur baja canai dingin diperkenalkan oleh Prof. Leroy Gardner dari Imperial College London (Gardner, 2008). Awalnya metode CSM ini dipakai untuk memberikan alternatif dalam melakukan analisis penampang kekuatan profil baja nirkarat (*stainless steel*) canai dingin. Metode ini tidak menggunakan klasifikasi penampang yang umum digunakan pada perhitungan elemen baja *hot-rolled* yang dikaitkan dengan perilaku tekuk mana yang menentukan. Metode CSM memiliki 1 kurva

dasar yang berasal dari hubungan antara rasio regangan ultimit ( $\epsilon_{csm}/\epsilon_y$ ) dan kelangsingan pelat penyusun profil elemen struktur ( $\lambda_p$ ).

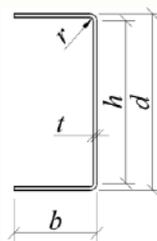
Ketiga metode EWM, DSM, dan CSM telah diadopsi pada draft peraturan baja nirkarat canai dingin (ASCE, 2021). Namun demikian, untuk peraturan baja karbon canai dingin yang terbaru saat ini (AS/NZS 4600:2018 dan AISI S100-2016) hanya mengadopsi dua metode, yaitu EWM dan DSM ditambah dengan metode kekuatan cadangan inelastis (*inelastic reserve strength*) yang tidak dibahas pada makalah ini dikarenakan metode ini hanya dapat dipakai pada penampang stocky yang kekuatannya di atas kekuatan leleh. Pada perkembangan peraturan selanjutnya, tidak menutup kemungkinan apabila metode CSM dapat diakomodir oleh peraturan baja karbon canai dingin. Metode DSM dan CSM membantu insinyur struktur dalam melakukan perhitungan kapasitas penampang baja canai dingin dengan lebih optimal dan relatif lebih cepat dibandingkan dengan metode EWM (Schafer, 2008; Gardner, 2008).

Bagian selanjutnya dari makalah ini menampilkan persamaan-persamaan yang dipakai pada ketiga metode tersebut. Persamaan-persamaan tersebut berlaku untuk penampang kanal dan penampang berongga, baik yang berbentuk persegi (*square hollow section*), persegi panjang (*rectangular hollow section*), dan lingkaran (*circular hollow section*). Penampang I, siku, dan bentuk lainnya tidak menjadi fokus karena relatif jarang dipakai untuk struktur penutup atap dan dinding pada bangunan baja. Selain itu, yang menjadi fokus pada makalah ini yaitu desain penampang terhadap aksi tunggal baik akibat tekan (kolom) maupun lentur (balok) pada sumbu kuat. Desain penampang akibat aksi kombinasi (tekan dan lentur), dapat didekati secara konservatif dengan meminjam persamaan interaksi yang diberikan oleh SNI 7971:2013.

Menurut ketentuan pada pasal E dan F AISI (2016), kekuatan maksimal penampang baik kolom maupun balok tanpa lubang ditentukan berdasarkan nilai terkecil dari kapasitas: (1) kuat leleh dan atau tekuk global (*yielding and global buckling*); (2) kuat tekuk lokal (*local buckling*) berinteraksi dengan kuat leleh dan tekuk global; dan (3) kuat tekuk distorsi (*distortional buckling*). Perbedaan dalam menghitung masing-masing kekuatan batas dari ketiga metode akan diuraikan berikut ini.

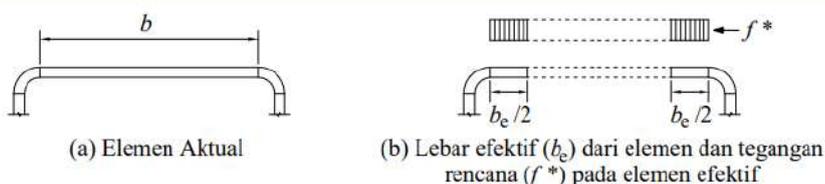
## 2. METODE EWM

Pada prinsipnya, metode EWM dipakai dengan memanfaatkan kekuatan pasca tekuk pada setiap elemen pelat (Yu et al., 2020) yang membentuk sebuah profil baja canai dingin. Sebagai contoh, profil kanal pada Gambar 1 terdiri dari 2 pelat sayap (*unstiffened element*) dan 1 pelat badan (*stiffened element*). Besar tegangan tekuk yang dialami pelat badan dan sayap bervariasi di sepanjang pelat sehingga terjadi distribusi tegangan tekuk yang tidak merata pada penampang pelat. Akibatnya penampang pelat yang lebih dekat dengan tumpuan akan mengalami tekuk yang lebih besar, sedangkan yang jauh dari tumpuan akan mengalami tegangan yang lebih kecil. Tumpuan ini berada pada daerah pertemuan antara pelat sayap dan badan. Apabila lebar pelat sangat besar seperti pada pelat langsing, maka tegangan di daerah pelat yang relatif jauh dari tumpuan diabaikan sehingga bagian pelat yang mengalami tegangan tekuk yang diabaikan menjadi tidak diperhitungkan untuk kekuatan penampang secara keseluruhan. Dengan demikian, lebar bagian pelat yang diperhitungkan tadi disebut sebagai lebar efektif,  $b_e$  (*effective width*).

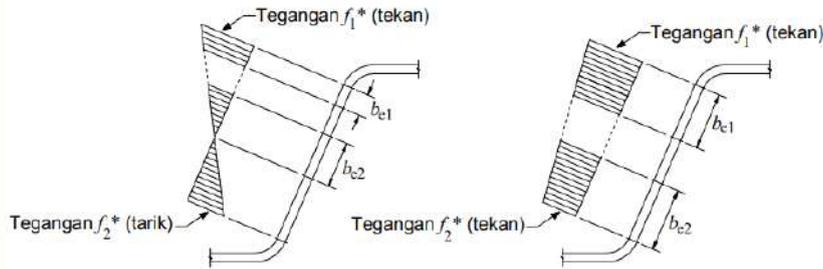


Gambar 1. Penampang profil kanal

Akibat adanya pengurangan lebar ukuran penampang dari  $b$  menjadi  $b_e$  (seperti terlihat pada Gambar 2) properti penampang perlu dihitung ulang, seperti inersia ( $I$ ), modulus elastis ( $S$ ), dan modulus plastis ( $Z$ ) penampang. Perhitungan ulang ini melibatkan persamaan-persamaan lebar efektif yang diberikan oleh peraturan, seperti yang tertulis pada appendix 1 AISI (2016). Persamaan-persamaan tersebut dikumpulkan pada Tabel 1 untuk menganalisis lebar efektif dari profil kanal dan profil berongga yang mengalami gaya aksial tekan dan momen lentur.



Gambar 2. Ilustrasi lebar efektif ( $b_e$ ) (diambil dari SNI 7971:2013)



Gambar 3. Elemen badan mengalami tegangan bergradien (SNI 7971:2013)

Berdasarkan perhitungan  $b_e$  dari Tabel 1, maka dapat disimpulkan apabila metode EWM sangatlah tepat untuk menghitung kekuatan penampang untuk menghindari tekuk lokal ( $P_{nl}$  atau  $M_{nl}$ ) karena menggunakan nilai tegangan tekuk lokal ( $F_{cr1}$ ). Besarnya nilai  $F_{cr1}$  bergantung pada nilai “k” yang merupakan koefisien pengali tegangan tekuk kritis yang dialami sebuah elemen plat yang berasal dari Timoshenko and Gere (1961). Nilai “k” tersebut tidak memperhitungkan interaksi antar element plat yang menyusun sebuah profil, maka  $F_{cr1}$  menjadi sangat konservatif.

Tabel 1. Persamaan-persamaan lebar efektif ( $b_e$ )

Elemen penampang	Kolom	Balok
Plat Sayap	$b_e = \rho \cdot b_f$ ; $b_f = b - r - t$ (1) $\rho = (1 - 0.22/\lambda)/\lambda$ (2) dimana $\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr1}}}$ ; $\lambda \leq 0.673 \rightarrow \rho = 1$ (3) Nilai f berdasarkan hasil iterasi dan untuk iterasi pertama bisa dianggap $f = f_y$ . Dan $F_{cr1} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2$ ; (4) $k = 0.43$ untuk profil kanal, dan $k = 4$ untuk profil berongga.	Perhitungan $b_e$ hanya dilakukan untuk bagian sayap yang mengalami tekan. Untuk bagian sayap yang mengalami tarik maka keseluruhan bagian efektif dalam memikul tarik. Nilai $b_e$ dihitung menggunakan persamaan (1) – (4)
Plat Badan	$b_e$ untuk plat badan sama dengan persamaan $b_e$ untuk plat sayap, kecuali untuk nilai $k = 4$ baik untuk profil kanal maupun profil berongga.	Gambar 3 Kasus 1: $f_1^*$ tekan, $f_2^*$ tarik $\psi =  f_2^*/f_1^* $ (5) $k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi)$ (6) Untuk $h/b \leq 4$ : $b_1 = b_e/(3 + \psi)$ ; $b_2 = b_e/2$ untuk $\psi > 0.236$ (7) $b_2 = b_e - b_1$ untuk $\psi \leq 0.236$ (8) Untuk $h/b > 4$ : $b_1 = b_e/(3 + \psi)$ ; $b_2 = b_e/(1 + \psi) - b_1$ (9) Gambar 3 Kasus 2: $f_1^*$ & $f_2^*$ tekan $k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi)$ (10) $b_1 = b_e/(3 - \psi)$ ; $b_2 = b_e - b_1$ (11) Catatan: Perlu selalu dikontrol agar $b_1 + b_2 \leq$ lebar bagian badan yang terkena tekan. $b_e$ dihitung dari persamaan (1)-(4) dengan b merupakan tinggi plat badan (d)

Sesuai dengan mekanisme keruntuhan no (2) pada AISI (2016), kuat tekuk lokal dapat terjadi berinteraksi dengan kuat leleh ( $P_y$  atau  $M_y$ ) atau tekuk global ( $P_{ne}$  atau  $M_{ne}$ ). Tekuk lokal murni hanya dapat ditemukan pada kegagalan kolom pendek (*stub column*) dan balok yang mengalami momen lentur dengan penampang simetris (Afshan and Gardner, 2013). Tekuk global seperti tekuk lentur (*flexural buckling*), tekuk torsi (*torsional buckling*), dan tekuk lentur-torsi (*flexural-torsional buckling*) terjadi pada kolom/balok langsing. Kuat penampang akibat tekuk lokal dan tekuk global dihitung menggunakan persamaan-persamaan pada Tabel 2.

Pada struktur baja canai dingin, dikenal istilah tekuk distorsi (*distortional buckling*) yang hanya terjadi pada profil I, Z, C, dan profil lain yang memiliki *edge stiffeners*. Profil seperti ini yang ada di pasaran yaitu profil lipped channel

(CNP) yang banyak digunakan untuk struktur gording. Untuk kuat tekuk distorsi, AISI (2016) hanya menyediakan metode DSM untuk menghitung besarnya nilai kekuatan. Desain penampang profil CNP menggunakan metode EWM menjadi lebih rumit karena perlu memeriksa lebar efektif bagian *lipped*-nya. Pada metode EWM diperlukan iterasi dalam menentukan garis netral elastik pada saat menghitung properti penampang tereduksi (penampang efektif) pada balok. Contoh perhitungan yang melibatkan proses iterasi dapat dilihat pada contoh soal 4.5 pada buku Yu et al. (2020). Untuk perhitungan kolom, perhitungan lebar efektif tidak memerlukan iterasi dikarenakan penampang mengalami tegangan tekan merata akibat gaya aksial. Namun perlu diingat, distribusi tegangan tekan merata ini tidak ekuivalen dengan distribusi tegangan tekuk yang dialami pelat sebagai respon akibat adanya tegangan tekan tersebut.

Tabel 2. Menghitung kuat tekuk lokal berinteraksi dengan kuat leleh dan tekuk global menggunakan metode EWM

Keruntuhan	Kolom	Balok
Tekuk lokal	$P_{nl} = A_e F_n \leq P_{ne}$ (12) dimana: $A_{ne}$ merupakan luas penampang efektif dari reduksi ukuran penampang akibat perhitungan $b_e$ .	$M_{nl} = S_e F_n \leq S_{et} f_y$ (20) $S_e$ = modulus penampang efektif dihitung dari lokasi garis netral ke serat tekan terluar. $S_{et}$ = modulus penampang efektif dihitung dari lokasi garis netral ke serat tarik terluar.
Tekuk global	$P_{ne} = A_g F_n$ , dimana: (13) Untuk $\lambda_c \leq 1.5 \rightarrow F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) f_y$ (14) Untuk $\lambda_c > 1.5 \rightarrow F_n = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right) f_y$ (15) dan $\lambda_c = (f_y/F_{cre})^{0.5}$ (16) Nilai $F_{cre}$ ditentukan dari jenis tekuk global yang dialami oleh penampang. Untuk penampang simetris pada dua arah hanya terjadi tekuk lentur, sehingga: $F_{cre} = \pi^2 E / (KL/r)^2$ (17) K adalah faktor panjang efektif. Untuk penampang yang mengalami tekuk torsi atau tekuk lentur torsi: $F_{cre} = \frac{1}{2\beta} \left[ (\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right]$ (18) $\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x/r_x)^2}$ (19) $\sigma_t$ dihitung dari persamaan (28)	$M_{nl} \leq M_{ne}$ serta $M_{ne} \leq M_y$ (21) $M_{ne} = S_f f_y$ ; (22) $S_f$ = modulus elastis tidak tereduksi dihitung dari garis netral ke serat tekan terluar pada penampang $M_y = S_f f_y$ ; (23) $S_f$ = modulus elastis tidak tereduksi dihitung dari garis netral pada saat kondisi leleh pertama. Nilai $F_n$ ditentukan dari: $F_{cre} \geq 2.78 f_y \rightarrow F_n = f_y$ (24) $2.78 f_y > F_{cre} > 0.56 f_y \rightarrow F_n = 10 f_y / 9 * (1 - 10 f_y / 36 F_{cre})$ (25) $F_{cre} \leq 0.56 f_y \rightarrow F_n = F_{cre}$ (26) $F_{cre} = \frac{C_b f_o A}{S_f} \left[ \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \right]$ (27) Nilai $C_b$ dihitung seperti pada struktur baja <i>hot-rolled</i> $\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right]$ (28)

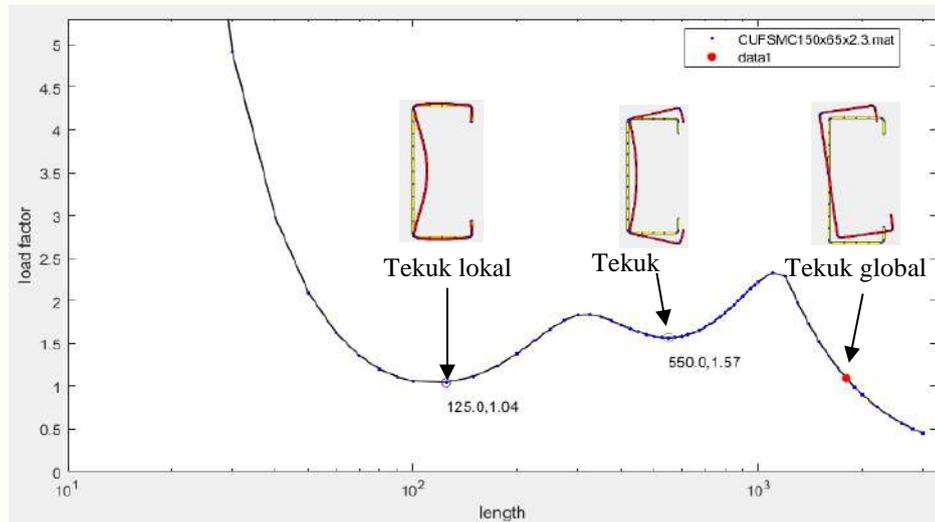
### 3. METODE DSM

Perhitungan kekuatan penampang menggunakan metode DSM berbasis pada properti penampang utuh sehingga tidak diperlukan perhitungan lebar efektif penampang. Namun demikian, metode ini melibatkan perhitungan kuat tekuk elastis penampang yang dapat diperoleh dari persamaan-persamaan di bagian apendiks 2 pada peraturan AISI (2016). Sebagai alternatif, analisis tekuk elastis dapat dilakukan menggunakan program bantu yang berbasis *finite strip analysis* (FSA) seperti pada program CUFSM (Schafer and Adány, 2006) atau THIN-WALL (Papangelis and Hancock, 1995). Selain itu, bisa juga menggunakan program bantu berbasis metode elemen hingga (*finite element method*/FEM) seperti pada software ABAQUS (2018). Secara umum, penggunaan software berbasis FSA relatif lebih sederhana dari sisi input dan user interface dari pada software berbasis FEM. Perhitungan menggunakan program bantu ini dianggap lebih optimal karena telah melibatkan interaksi antar elemen plat penyusun sebuah profil.

Apabila dibandingkan dengan metode EWM, maka metode DSM relatif lebih sederhana dan lebih cepat dalam melakukan perhitungan. Selain itu, optimasi juga dapat diperoleh karena memperhitungkan interaksi elemen plat pada kekuatan tekuk elastisnya. Namun demikian, perlu diperhatikan bahwa profil-profil yang dipakai harus memenuhi prasyarat seperti yang disebutkan oleh Schafer (2008). Selain itu, perlu dicatat bahwa metode DSM didasarkan oleh persamaan-persamaan empiris yang diperoleh dari data hasil pengujian dan hasil simulasi numerik pada penelitian yang ada. Maka dari itu, peraturan akan selalu mengkalibrasi persamaan-persamaan yang ada apabila di kemudian hari diperoleh data terbaru. Untuk melindungi pengguna, maka diberikan faktor reduksi kekuatan yang dipakai pada metode LRFD untuk menghitung kapasitas ijin tereduksi.

Program CUFSM direkomendasikan oleh AISI (2016) dan software ini dapat diunduh secara gratis. Dengan bantuan

program CUFSM maka akan diperoleh *signature curve* yang menunjukkan seluruh kapasitas tekuk elastis dari penampang yang sedang ditinjau. Sebagai contoh, Gambar 4 menampilkan *signature curve* dari profil kanal C150x65x20x2.3 yang terkena beban aksial tekan. Sumbu absis menyatakan panjang bagian batang yang mengalami tekuk untuk setengah periode panjang gelombang (*buckling half-wavelength*) dan sumbu ordinat menyatakan faktor pengali terhadap kapasitas leleh.



Gambar 4. *Signature curve* profil C150x65x20x2.3

Pada Gambar 4, diketahui apabila kapasitas tekuk lokal elastis ( $P_{cr1}$ ) sebesar  $1.04P_y$ , tekuk distorsi elastis ( $P_{crd}$ ) sebesar  $1.57P_y$ , dan tekuk global yang merupakan tekuk torsi elastis ( $P_{cre}$ ) pada panjang bentang 1800 mm sebesar  $1.09P_y$ . Setelah diperoleh nilai-nilai kuat tekuk elastis dari masing-masing keruntuhan maka dapat dihitung kuat ultimit penampang menggunakan persamaan-persamaan yang akan ditampilkan pada Tabel 3.

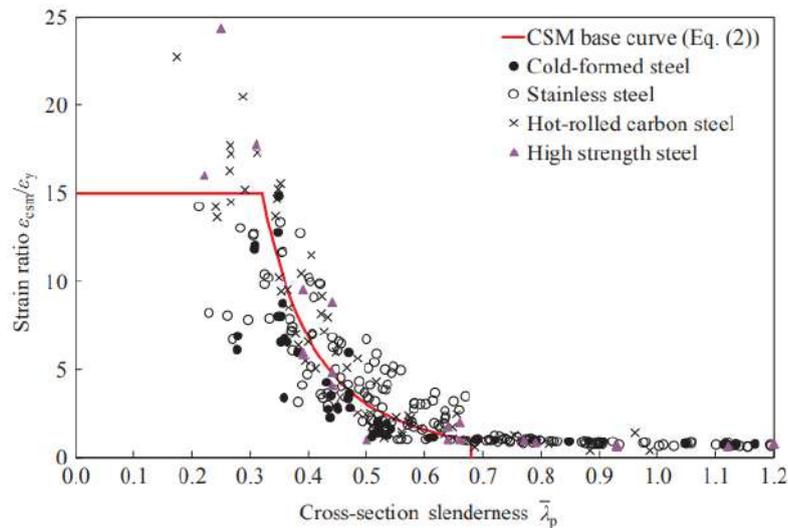
Tabel 3. Menghitung kuat tekuk lokal berinteraksi dengan kuat leleh dan tekuk global menggunakan metode DSM

Keruntuhan	Kolom	Balok
Tekuk lokal	Untuk $\lambda_l \leq 0.776 \rightarrow P_{nl} = P_{ne}$ (29)	Untuk $\lambda_l \leq 0.776 \rightarrow M_{nl} = M_{ne}$ (35)
	Untuk $\lambda_l > 0.776 \rightarrow$	Untuk $\lambda_l > 0.776 \rightarrow$
	$P_{nl} = \left[ 1 - 0.15 \left( \frac{P_{cr1}}{P_{ne}} \right)^{0.4} \right] \left( \frac{P_{cr1}}{P_{ne}} \right)^{0.4} P_{ne}$ (30)	$M_{nl} = \left[ 1 - 0.15 \left( \frac{M_{cr1}}{M_{ne}} \right)^{0.4} \right] \left( \frac{M_{cr1}}{M_{ne}} \right)^{0.4} M_{ne}$ (36)
	dengan $\lambda_l = (P_{ne}/P_{cr1})^{0.5}$ (31) Nilai $P_{cr1}$ diperoleh dari <i>signature curve</i>	dengan $\lambda_l = (M_{ne}/M_{cr1})^{0.5}$ (37) Nilai $P_{cr1}$ diperoleh dari <i>signature curve</i>
Tekuk global	$P_{ne} = A_g F_n$ , dimana: (13)	$M_{nl} \leq M_{ne}$ serta $M_{ne} \leq M_y$ (21)
	Untuk $\lambda_c \leq 1.5 \rightarrow F_n = (0.658 \lambda_c^2) f_y$ (14)	$M_{ne} = S_f f_y$ ; (22) $S_f$ = modulus elastis tidak tereduksi dihitung dari garis netral ke serat tekan terluar pada penampang
	Untuk $\lambda_c > 1.5 \rightarrow F_n = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) f_y$ (15)	$M_y = S_{fy} f_y$ ; (23) $S_{fy}$ = modulus elastis tidak tereduksi dihitung dari garis netral pada saat kondisi leleh pertama.
	dan $\lambda_c = (f_y/F_{cre})^{0.5}$ (16)	Nilai $F_n$ ditentukan dari:
	Nilai $F_{cre}$ dapat ditentukan menggunakan nilai kuat tekuk global pada <i>signature curve</i>	$F_{cre} \geq 2.78 f_y \rightarrow F_n = f_y$ (24)
		$2.78 f_y > F_{cre} > 0.56 f_y \rightarrow$ $F_n = 10 f_y / 9 * (1 - 10 f_y / 36 F_{cre})$ (25)
	$F_{cre} \leq 0.56 f_y \rightarrow F_n = F_{cre}$ (26)	
Tekuk distorsi	Untuk $\lambda_d \leq 0.561 \rightarrow P_{nd} = P_y = A_g f_y$ (32)	Untuk $\lambda_d \leq 0.673 \rightarrow M_{nd} = M_y$ (38)
	Untuk $\lambda_d > 0.561 \rightarrow$	Untuk $\lambda_d > 0.673 \rightarrow$
	$P_{nd} = \left[ 1 - 0.25 \left( \frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} \right] \left( \frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} P_y$ (33)	$P_{nd} = \left[ 1 - 0.22 \left( \frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} \right] \left( \frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} M_y$ (39)
	dengan $\lambda_l = (P_y/P_{crd})^{0.5}$ (34) Nilai $P_{crd}$ diperoleh dari <i>signature curve</i>	dengan $\lambda_l = (M_y/M_{crd})^{0.5}$ (40) Nilai $M_{crd}$ diperoleh dari <i>signature curve</i>

#### 4. METODE CSM

Metode CSM, awalnya dikembangkan untuk melakukan perhitungan kekuatan kolom pendek dan kekuatan lentur pada penampang struktur baja nirkarat (Gardner, 2008; Afsan and Gardner, 2013). Metode ini dibuat dengan tujuan untuk mengoptimasi hasil perhitungan kekuatan penampang yang memiliki mekanisme keruntuhan dominan pada perilaku inelastis. Kekuatan penampang pada kondisi inelastis jauh lebih tinggi dibandingkan kekuatan elastis yang dihitung berdasarkan tegangan leleh ( $f_y$ ), terutama pada struktur baja nirkarat. Hal ini berbeda dengan metode DSM yang membatasi kekuatan maksimal dari penampang tidak boleh melebihi kekuatan elastisnya. Menurut Gardner (2008) dan Afsan and Gardner (2013), hal ini menjadikan desain profil struktur dengan kelangsingan pelat ( $\lambda_p \leq 0.68$ ) menjadi kurang realistis karena kemampuan dalam memikul beban tidak dimobilisasi keseluruhan.

Yun and Gardner (2018) melakukan penelitian lebih lanjut pada metode CSM untuk digunakan pada profil berongga yang terbuat dari baja karbon canai dingin. Penelitian mereka terbatas pada profil-profil yang memiliki nilai  $\lambda_p \leq 0.68$ . Meskipun demikian, dari penelitian tersebut diperoleh hasil apabila persamaan-persamaan metode CSM yang dipakai pada struktur baja nirkarat (Afsan and Gardner, 2013) dapat dipakai pada struktur baja karbon. Hal ini terlihat dari kurva hubungan antara rasio regangan ( $\epsilon_{csm}/\epsilon_y$ ) dengan kelangsingan plat profil ( $\lambda_p$ ) pada penelitian Yun and Gardner (2018) yang dapat dilihat pada Gambar 5, yang dikenal sebagai CSM *base curve* (garis berwarna merah). Pada kurva tersebut terlihat apabila garis berwarna merah dapat mewakili hubungan antara  $\epsilon_{csm}/\epsilon_y$  dan  $\lambda_p$  dari data hasil eksperimen struktur baja karbon (*hot-rolled carbon steel*), struktur baja nirkarat (*stainless steel*) dan struktur baja karbon canai dingin.



Gambar 5. CSM *base curve* untuk profil baja carbon canai dingin (Yun and Gardner, 2018)

Nilai  $\epsilon_{csm}$  pada Gambar 5 diperoleh dari nilai perpendekan maksimal ( $\delta_u$ ) dari struktur kolom pendek dibagi dengan panjang kolom ( $L$ ) serta dari konversi nilai kurvatur maksimal ( $\kappa_u$ ) dari struktur balok lentur yang diperoleh dari hasil eksperimen (Yun and Gardner, 2018). Untuk nilai  $\lambda_p \leq 0.68$ , nilai  $\epsilon_{csm}$  yang diinput ke Gambar 5 hanya mewakili nilai regangan plastis (Afshan and Gardner, 2013). Selanjutnya, nilai  $\epsilon_{csm}$  dinormalisasi terhadap nilai  $\epsilon_y$  yang diperoleh dari tegangan leleh ( $f_y$ ) dibagi dengan modulus elastisitas material ( $E$ ). Persamaan empiris antara  $\epsilon_{csm}/\epsilon_y$  dengan  $\lambda_p$  dari hasil penelitian Yun and Gardner (2018) serta Zhao and Gardner (2018) dapat dilihat pada persamaan (41)-(43) yang diperoleh secara empiris dari data eksperimen. Hasil penelitian Zhao and Gardner (2018) diikutsertakan karena berfokus pada penampang terbuka dengan  $\lambda_p \leq 0.68$  dan  $\lambda_p > 0.68$ .

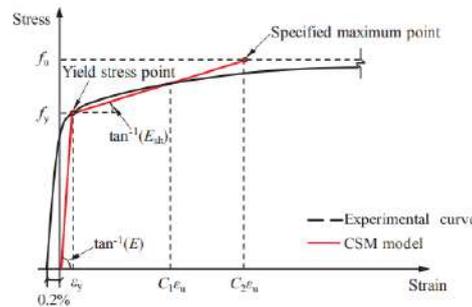
$$\frac{\epsilon_{csm}}{\epsilon_y} = \frac{0.25}{\lambda_p^{3.6}} \text{ tapi } \leq \min(15, 0.4\epsilon_u/\epsilon_y) \text{ untuk } \lambda_p \leq 0.68 \quad (41)$$

$$\frac{\epsilon_{csm}}{\epsilon_y} = \left(1 - \frac{0.222}{\lambda_p^{1.050}}\right) \frac{1}{\lambda_p^{1.050}} \text{ untuk } \lambda_p > 0.68 \quad (42)$$

$$\lambda_p = (f_y/\sigma_{cr})^{0.5} \quad (43)$$

Nilai  $\sigma_{cr}$  diperoleh dari nilai tegangan elastis tekuk lokal yang dapat diperoleh dari *signature curve*, yang berarti telah memperhitungkan interaksi elemen plat penyusun profil. Selain CSM *base curve*, pada metode CSM diperlukan juga pemodelan konstitutif material untuk menentukan besarnya regangan ultimit material ( $\epsilon_u$ ) dan *strain hardening* material ( $E_{sh}$ ). Yun and Gardner (2018) mengusulkan model konstitutif material seperti pada Gambar 6 (garis

berwarna merah) yang diperoleh dari pengumpulan hasil uji tarik material baja canai dingin pada penelitian-penelitian sebelumnya. Dari pengumpulan tersebut, Yun and Gardner (2018) mengusulkan persamaan (44) dan (45) yang digunakan untuk menghitung kapasitas penampang.



Gambar 6. Model konstitutif material (Yun and Gardner, 2018)

$$\epsilon_u = 0.6(1 - f_y/f_u) \tag{44}$$

$$E_{sh} = (f_u - f_y)/(0.45\epsilon_u - \epsilon_y) \tag{45}$$

Kapasitas penampang yang dihasilkan dengan menggunakan metode CSM berasal dari mekanisme keruntuhan tekuk lokal yang berinteraksi dengan tekuk global. Kapasitas penampang kolom dihitung menggunakan persamaan (46)-(48), sedangkan untuk kapasitas penampang terkena lentur menggunakan persamaan (49) dan (50). Persamaan-persamaan ini diperoleh dari gabungan hasil penelitian Yun and Gardner (2018) serta Zhao and Gardner (2018). Walaupun hasil penelitian Zhao and Gardner (2018) terbatas untuk baja nirkarat, Gambar 5 menunjukkan adanya kesinambungan tren *CSM base curve* antara baja karbon dan baja nirkarat.

$$P_{csm} = A_g f_{csm} \tag{46}$$

$$f_{csm} = f_y + E_{sh}(\epsilon_{csm} - \epsilon_y) \text{ untuk } \epsilon_{csm} \geq \epsilon_y \tag{47}$$

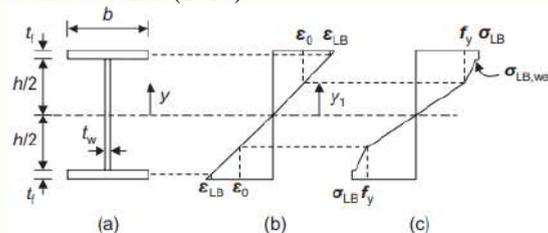
$$f_{csm} = E\epsilon_{csm} \text{ untuk } \epsilon_{csm} < \epsilon_y \tag{48}$$

$$M_{csm} = \left[ 1 + \frac{E_{sh}}{E} \frac{S}{Z} \left( \frac{\epsilon_{csm}}{\epsilon_y} - 1 \right) - \left( 1 - \frac{S}{Z} \right) / \left( \frac{\epsilon_{csm}}{\epsilon_y} \right)^2 \right] \text{ untuk } \epsilon_{csm} \geq \epsilon_y \tag{49}$$

$$M_{csm} = \epsilon_{csm} \cdot S \cdot f_y / \epsilon_y \text{ untuk } \epsilon_{csm} < \epsilon_y \tag{50}$$

Apabila dilihat dari bentuk persamaan matematikanya, persamaan kapasitas penampang tekan sama dengan persamaan menghitung kekuatan kolom pendek, yaitu berdasarkan hasil perkalian luas penampang ( $A_g$ ) dikalikan dengan kapasitas tegangan. Untuk metode CSM, nilai kapasitas tegangan berasal dari  $f_{csm}$  yang besarnya sudah memperhitungkan *strain hardening* pada material serta kemampuan deformasi ultimit pada struktur. Dari persamaan (47), terlihat apabila nilai tegangan yang dipakai untuk menghitung kapasitas penampang boleh melebihi  $f_y$  selama penampang dapat berdeformasi melebihi regangan leleh material ( $\epsilon_y$ ).

Kekuatan penampang lentur dihitung menggunakan persamaan (49) yang diperoleh dari analisis penampang seperti Gambar 7. Persamaan (49) merupakan hasil penyederhanaan yang diusulkan oleh Gardner et al. (2011), sedangkan persamaan (50) diambil dari Zhao and Gardner (2018).



Gambar 7. Analisis penampang profil I untuk metode CSM (Gardner, 2008).

### 5. CONTOH PERHITUNGAN KEKUATAN KOLOM

Pada bagian ini akan diberikan contoh perhitungan kekuatan kolom menggunakan profil kanal seperti Gambar 1 berdasarkan ketiga metode.

Data ukuran profil:  $b = 60 \text{ mm}$ ;  $d = 120 \text{ mm}$ ;  $r = 2 \text{ mm}$ ;  $t = 2 \text{ mm}$ ;  $f_y = 240 \text{ MPa}$ ;  $E = 200000 \text{ MPa}$ ;  $A = 236.71 \text{ mm}^2$   
 $r_x = 48.5$ ;  $r_y = 19.2 \text{ mm}$ ;  $r_o = 56.8 \text{ mm}$ ;  $x_o = 22.49 \text{ mm}$ ;  $J = 78.9 \text{ mm}^2$ ;  $C_w = 214977116.4 \text{ mm}^4$

➤ **Metode EWM**

1. Memeriksa lebar efektif plat sayap:

$b_f = 58 \rightarrow b_f/t = 58$

$F_{cr1} = 22.18 \text{ MPa}$  dari persamaan (4) dengan nilai  $k = 0.43 \rightarrow \lambda = 3.4109$  (lihat persamaan (3))

Karena  $\lambda > 0.673$ , maka nilai  $\rho$  dari persamaan (2) =  $0.2743 \rightarrow b_e$  untuk sayap =  $0.27 \cdot 58 = 15.9076 \text{ mm}$

Maka plat sayap **tidak seluruhnya efektif**

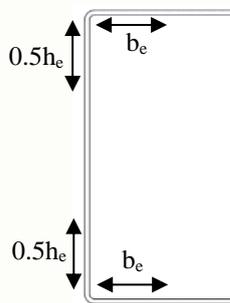
2. Memeriksa lebar efektif plat badan:

$h = d - 2r - 2t = 116 \rightarrow h/t = 116$

$F_{cr1} = 51.58 \text{ MPa}$  dari persamaan (4) dengan nilai  $k = 4 \rightarrow \lambda = 2.2364$

maka nilai  $\rho = 0.403$  dan  $h_e = 46.7666 \text{ mm}$

3. Menghitung properti penampang tereduksi:



$A_e = A_g - 2b_e t - (h - h_e)t = 83.2918 \text{ mm}^2$

4. Menghitung kapasitas penampang ( $L = 2000$ )

- a. Tekuk global ( $P_{ne}$ ):  $K_x = K_y = K_t = 1$

Tekuk lentur:  $F_{cre}$  (persamaan (15)) =  $174.64 \text{ MPa}$

Tekuk torsi-lentur:  $\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L)^2} \right] = 140.987 \text{ MPa}$  dan  $\sigma_{ex} = 1114.357 \text{ MPa}$

Dengan nilai  $\beta = 0.843$ , maka  $F_{cre} = 137.928 \text{ MPa}$  (Tekuk torsi-lentur menentukan)

$\lambda_c = (258/137.928)^{0.5} = 1.368 \leq 1.5$  (persamaan (14))  $\rightarrow F_n = 117.88 \text{ MPa}$

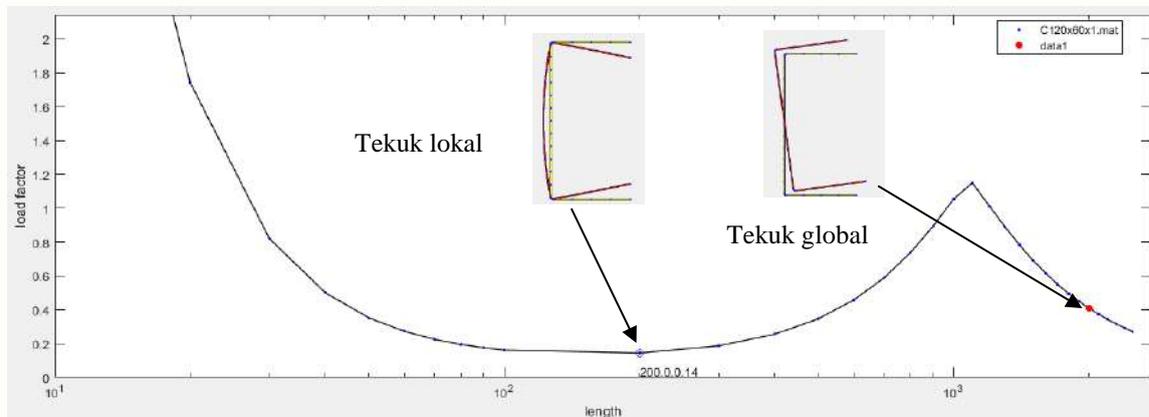
$P_{ne} = A_g F_n = 27.9 \text{ kN}$

- b. Tekuk lokal berinteraksi dengan tekuk global ( $P_n$ )

$P_n = A_e F_n = 83.2918 \cdot 117.88 = 9.82 \text{ kN} < P_{ne}$

Jadi kapasitas penampang = **9.82 kN**

➤ **Metode DSM**



Gambar 8. Signature curve profil kanal C120x60x1

Dari Gambar 8, diperoleh nilai:  $P_{cr1} = 0.14P_y$  dan  $P_{cre} = 0.41P_y$

1. Kapasitas penampang akibat tekuk global:

$$\lambda_c = (P_y/0.41P_y)^{0.5} = 1.562 > 1.5 \rightarrow F_n = 0.359f_y = 93.097 \text{ MPa}$$

$$P_{ne} = A_g \cdot F_n = \mathbf{21.924 \text{ kN}}$$

2. Kapasitas penampang akibat tekuk lokal:

$$\lambda_l = (21.924/0.14P_y)^{0.5} = 1.605 > 0.776$$

$$P_{nl} = \left[ 1 - 0.15 \left( \frac{P_{cr1}}{P_{ne}} \right)^{0.4} \right] \left( \frac{P_{cr1}}{P_{ne}} \right)^{0.4} P_{ne} = \mathbf{13.54 \text{ kN}}$$

➤ **Metode CSM**

$$\lambda_p = (f_y/\sigma_{cr})^{0.5} = (1/0.14)^{0.5} = 2.6726 > 0.68$$

$$\frac{\epsilon_{csm}}{\epsilon_y} = \left( 1 - \frac{0.222}{\lambda_p^{1.050}} \right) \frac{1}{\lambda_p^{1.050}} = 0.328 \rightarrow \epsilon_{csm} = 0.328\epsilon_y$$

$$\text{If } f_u = 620 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_u = 0.35 \text{ and } E_{sh} = 2318.2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{csm} = E\epsilon_{csm} = 84.624 \text{ N/mm}^2 \rightarrow P_{csm} = 20.03 \text{ kN}$$

Tabel 4. Perbandingan kapasitas penampang

Jenis Tekuk	Metode EWM	Metode DSM	Metode CSM
Tekuk global	27.9 kN	21.9 kN	-
Tekuk lokal+global	9.82 kN	13.5 kN	20.03 kN

Perbandingan hasil perhitungan kapasitas penampang ditampilkan pada Tabel 4. Untuk tekuk global, nilai  $P_{ne}$  dari metode EWM lebih besar dari pada metode DSM. Hal ini dikarenakan metode EWM menggunakan persamaan-persamaan teoritis yang relatif lebih akurat dari pada metode pendekatan berdasarkan FSA yang dihasilkan oleh metode DSM. Metode CSM tidak spesifik meninjau perhitungan tekuk global karena metode ini dikembangkan untuk profil-profil *stocky*. Meskipun demikian, besarnya  $P_{ne}$  dapat diperoleh menggunakan persamaan analitis seperti pada metode EWM. Untuk kapasitas tekuk lokal berinteraksi dengan tekuk global ( $P_{nl}$ ), metode CSM menghasilkan nilai yang paling besar dibanding dengan metode lainnya. Hal ini dikarenakan pengaruh implisit *strain hardening* pada nilai  $\epsilon_{csm}$  yang umumnya diabaikan pada desain kapasitas penampang yang diperoleh berdasarkan pada kondisi leleh pertamanya saja. Metode EWM menghasilkan nilai  $P_{nl}$  yang relatif kecil dikarenakan pendekatan yang digunakan pada perhitungan lebar efektif, dimana kuat tekuk lokal elastis pada masing-masing pelat penyusun profil ditinjau secara terpisah. Hal ini berbeda dengan metode DSM yang menggunakan hasil perhitungan analisis tekuk elastis berbasis FSA, dimana interaksi antar elemen plat diperhitungkan. Dengan demikian, hasil perhitungannya lebih realistis dan tidak terlalu konservatif.

## 6. PENUTUP

Tiga metode perhitungan kapasitas penampang elemen struktur baja canai dingin menggunakan metode lebar efektif (EWM), metode kekuatan langsung (DSM), dan metode kekuatan menerus (CSM) telah dibahas pada makalah ini. Ketiga metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Metode EWM hanya membutuhkan persamaan-persamaan analitis untuk memperoleh kekuatan tekuk elastis dan kapasitas penampang. Namun, metode ini memerlukan iterasi perhitungan lebar efektif pada saat menghitung kekuatan penampang akibat lentur. Metode DSM relatif lebih ringkas dari pada metode EWM tetapi persamaan kapasitas penampang yang digunakan berasal dari persamaan-persamaan empiris dari hasil pengujian yang telah dilaporkan. Metode ini menjadi lebih cepat untuk diaplikasikan apabila didukung dengan program bantu yang berbasis *finite strip analysis*. Metode CSM menjadi metode yang paling sederhana untuk diaplikasikan. Namun demikian, metode ini memerlukan pembuktian dan konsensus lebih lanjut dari para ahli karena metode ini membolehkan nilai kapasitas penampang yang melebihi kapasitas lelehnya untuk kasus *non-slender plate element* sebagai penyusun profil baja canai dingin dan mengikutsertakan pengaruh *strain hardening* serta *regangan ultimit* penampang. Secara umum, metode DSM saat ini dianggap menjadi metode yang tepat untuk menggantikan metode EWM apabila melihat perkembangan peraturan baja canai dingin yang terakhir diterbitkan di Amerika. Mudah-mudahan peraturan baja canai dingin di Indonesia ke depan dapat menempatkan metode DSM setara dengan metode EWM. Saat ini metode DSM sudah dikembangkan untuk berbagai perhitungan lain seperti terhadap aksi geser dan tekuk plat (*web crippling*).

## DAFTAR PUSTAKA

- ABAQUS. (2018). User's manual and theory manual.: Dassault Systèmes Simulia Corp.  
Afshan, S., and Gardner, L. (2013). "The continuous strength method for structural stainless steel design." *Thin-*

- Walled Structures, 68, 42-49
- AISI. (2007). *North American Specification for the design of cold-formed steel structural members*. AISI S100-07. Washington D.C., USA: American Iron and Steel Institute.
- AISI. (2016). *North American Specification for the design of cold-formed steel structural members*. AISI S100-16. Washington D.C., USA: American Iron and Steel Institute.
- AS/NZS. (2005). *Cold-formed steel structure*. AS/NZS 4600:2018. Sydney, Australia: Standards Australia/Standards New Zealand
- AS/NZS. (2018). *Cold-formed steel structure*. AS/NZS 4600:2018. Sydney, Australia: Standards Australia/Standards New Zealand
- ASCE. (2021). *Draft specification for the design of cold-formed stainless steel structural members*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
- BSN. (2013). *Struktur baja canai dingin*. SNI 7971:2013. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Gardner, L. (2008). "The continuous strength method". *Proceedings of the ICE—Structures and Buildings*, 161(3), 127-133.
- Gardner L, Wang F, Liew A. (2011). "Influence of strain hardening on the behaviour and design of steel structures.". *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 11(5), 855–75.
- Papangelis, J.P. and Hancock, G.J. (1995). "Computer analysis of thin-walled structural members.". *Computers & Structures*, 56(1), 157-176.
- Schafer, B.W., and Ádány, S. (2006). "Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods." *Eighteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, Orlando, FL.
- Schafer, B.W. (2008). "Review: the direct strength method of cold-formed steel member design.". *J. Constr. Steel Res.*, 64(7/8), 766-778.
- Schafer, B.W. (2019). "Review: the direct strength method of cold-formed steel member design.". *Thin-Walled Structures*, 140, 533-541.
- Timoshenko, S. P., and J. M. Gere. (1961). *Theory of Elastic Stability*: McGraw-Hill, New York.
- Yu, W.-W., LaBoube, R. A., & Chen, H. (2020). *Cold-formed steel design*: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA.
- Yun, X., and Gardner, L. (2018). "The continuous strength method for the design of cold-formed steel non-slender tubular cross-sections.". *Engineering Structures*, 175, 549-564.
- Zhao, O., and Gardner, L. (2018). "The continuous strength method for the design of mono-symmetric and asymmetric stainless steel cross-sections in bending.". *J. Constr. Steel Res.*, 150, 141-152.