

How to Select An Aproppriate Teaching Aid for Subject of Buckling of Column using Weighted Objectives Method

Eka Satria^{1,*}, Jhon Malta² dan Arief Rahmat Hakim³

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang

³Prodi Sarjana, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang

*Corresponding author: ekasatria@eng.unand.ac.id

Abstract. This paper discusses a selection process of teaching aids for stability of column in subject of Strength of Materials given in Mechanical Engineering Department of Andalas University. There are two steps of work are discussed in this paper. First, how to use a Weighted Objective Method to select the appropriate teaching aid for this topic. The selection is based on several evaluation criteria to accomodate all needs of students and teaching staffs. The level of importance of criteria of evaluation is determined by weighted factors given to them. Three alternative solutions; a 3D Model, a simulation of computational program and a poster which is taken from the reference books are used in evaluation. Each alternative solutions will have their own utility scores for every criteria of evaluation. The multiplication of each utility scores with the weigted factor of each criteria will determined the final score of the solution. The selected alternative is taken from the alternative whose the highest final score. The result shows that the simulation of computational program is chosen as the appropriate method in lecturing a concept of stability of column.

Abstrak. Makalah ini membahas proses pemilihan alat bantu ajar yang paling sesuai untuk topik perkuliahan kestabilan kolom pada matakuliah Mekanika Kekuatan Material di Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas. Ada dua tahapan yang akan dibahas dalam makalah ini. Tahap pertama, proses pemilihan alat bantu ajar yang melibatkan sebuah metoda yang sering dijumpai dalam proses perancangan konseptual, yaitu metoda *Weighted Objective*. Melalui metoda ini, tujuan pemilihan terlebih dahulu ditetapkan dengan mengakomodir keinginan dan kebutuhan peserta ajar maupun staf pengajar. Tujuan ini kemudian dijadikan sebagai suatu kriteria evaluasi dalam memilih alat bantu ajar yang sesuai dengan topik permasalahan. Kriteria-kriteria evaluasi ini kemudian diberikan harga pembobot yang menyatakan level kepentingannya. Kemudian dengan menggunakan suatu proses penghitungan sederhana, alat bantu ajar yang paling sesuai dengan kriteria evaluasi serta level kepentingannya dapat ditentukan. Tahap kedua, melibatkan proses pembuatan dari alat bantu ajar yang dipilih. Beberapa variasi dimensi dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap harga kekuatan kritis buckling struktur kolom ditetapkan sebagai dasar pembuatan alat. Diharapkan dengan alat bantu yang dipilih melalui metoda ini, pemahaman peserta ajar terhadap topik tersebut dapat ditingkatkan dan suasana pembelajar dapat memancing sikap kritis dan keingintahuan dari peserta ajar.

Kata kunci: pemilihan, alat bantu ajar, buckling pada kolom, *weighted objective*

© 2018.BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Salah satu matakuliah wajib yang ditawarkan di Program Sarjana (S1) pada Jurusan Teknik Mesin adalah Mekanika Kekuatan Material (MKM). Matakuliah ini diberikan pada Semester V dengan bobot 3 sks. Dari silabus yang dibuat, ada 8 Capaian Matakuliah yang ditargetkan, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

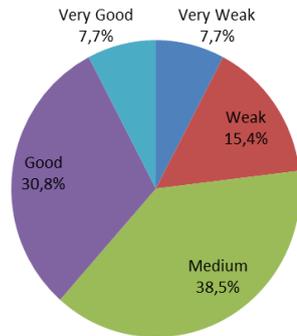
Tabel 1. Capaian Matakuliah MKM

No.	Capaian Matakuliah yang diharapkan
1	Mahasiswa dapat menentukan besar tegangan dan regangan yang terjadi akibat gaya normal, momen lentur dan momen puntir.
2	Mahasiswa mampu merancang dan menganalisis balok lentur.

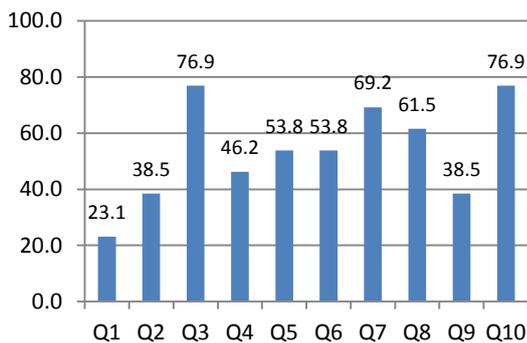
3	Mahasiswa dapat menghitung tegangan geser yang terjadi pada balok dan struktur tipis.
4	Mahasiswa dapat melakukan transformasi tegangan yang terjadi melalui Lingkaran Mohr.
5	Mahasiswa dapat menghitung tegangan-tegangan utama dan tegangan geser maksimum akibat pembebanan kombinasi.
6	Mahasiswa dapat menghitung dan menganalisis lendutan yang terjadi pada balok lentur.
7	Mahasiswa dapat menentukan beban kritis pada kasus kolom sederhana.
8	Mahasiswa dapat menerapkan metode energi dalam menghitung lendutan.

Salah satu capaian yang dirasakan cukup sulit untuk dipahami mahasiswa adalah Capaian ke 7 yaitu mengenai kasus kestabilan pada kolom. Dari suatu survey terhadap sekelompok mahasiswa yang

mengambil MKM pada Semester Genap 2017/2018 diperoleh suatu kondisi seperti yang diberikan pada Gambar 1. Persentase mahasiswa yang memiliki pemahaman medium ke bawah adalah sekitar 61,6%. Jika angka ini didistribusikan ke subbahasan apa saja pada kestabilan kolom yang susah dipahami, maka hasil yang diberikan diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 1 Tingkat pemahaman mahasiswa terhadap topik kestabilan kolom



- Q1 : Bagaimana buckling pada kolom terjadi?
- Q2 : Bagaimana cara menghitung beban kritis buckling?
- Q3 : Bagaimana menentukan modulus buckling pada kolom?
- Q4 : Bagaimana bentuk penampang dan panjang mempengaruhi harga beban kritis buckling?
- Q5 : Bagaimana menentukan arah buckling?
- Q6 : Bagaimana jenis tumpuan mempengaruhi beban kritis?
- Q7 : Bagaimana cacat geometri mempengaruhi beban kritis?
- Q8 : Bagaimana esentrisitas beban mempengaruhi beban kritis buckling?
- Q9 : Bagaimana menghitung panjang minimum kolom yang menyebabkan kegagalan buckling?
- Q10: Bagaimana penggunaan standar desain dalam perancangan buckling?

Gambar 2 Sebaran subbahasan kestabilan kolom yang dianggap sulit oleh mahasiswa

Dari Gambar 2 terlihat bahwa subbahasan Q3 dan Q10 memberikan persentase tertinggi, 76,9%, sebagai subbahasan yang kurang dimengerti, dilanjutkan dengan Q7 (69,2%), Q8 (61,5%), Q5 dan Q6 (53,8%), Q4 (46,2%), Q2 dan Q9 (38,5%) dan terendah adalah Q1, sekitar 23,1%.

Jika dilihat dari sistem pembelajaran selama ini yang menitikberatkan pada *powerpoint* dan buku referensi, dirasakan kurang efektif dalam menggali keingintahuan mahasiswa dan kurang menarik dari sisi penyampaian pembelajaran sehingga kurang merangsang minat mahasiswa dalam kelas. Makalah ini ditujukan dalam mencari bentuk alat bantu ajar yang efektif yang dapat menggali keingintahuan mahasiswa dalam proses pembelajaran kestabilan pada kolom, sehingga dapat membuat suasana kelas menjadi lebih menarik. Untuk keperluan tersebut, sebuah metoda yang biasa digunakan dalam konsep perancangan yaitu metoda *weighted objective* (WOM) digunakan sebagai alat bantu dalam mencari alat bantu ajar yang paling sesuai. Kemudian setelah konsep yang terbaik diperoleh, maka makalah ini juga akan memperlihatkan cara pembuatan dan hasil yang diperoleh.

Metode Penelitian

Melalui metoda WOM, beberapa konsep yang dipertimbangkan dapat digunakan sebagai alternatif solusi diperbandingkan satu sama lain berdasarkan kriteria evaluasi yang telah ditentukan. Kriteria evaluasi ini diberikan bobot yang sesuai dengan permintaan pelanggan, sehingga hasil yang diberikan nantinya dapat memenuhi kepuasan para pelanggan. Prosedur dari metoda WOM adalah sebagai berikut [1]:

1. Tentukan list dari kriteria evaluasi,
2. Urutkan kriteria evaluasi tersebut dari yang paling penting sampai yang kurang penting,
3. Berikan faktor pembobot untuk setiap kriteria evaluasi,
4. Berikan nilai skor utiliti terhadap konsep-konsep solusi yang dipilih,
5. Nilai dari setiap konsep solusi diperoleh dari penjumlahan hasil perkalian nilai skor utiliti dengan nilai pembobot untuk seluruh kriteria evaluasi.

Kriteria evaluasi. Ada beberapa kriteria evaluasi yang digunakan. Kriteria evaluasi ini secara umum ditentukan berdasarkan kepentingan staf pengajar dan mahasiswa. Metode yang paling sederhana dalam menentukan kriteria evaluasi ini adalah melalui metoda *Objective Tree* (OTM). Karena keterbatasan halaman, grafik yang memperlihatkan penurunan kriteria evaluasi berdasarkan metoda OTM tidak ditampilkan. Hasil secara umum diperlihatkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kriteria Evaluasi Pencarian Alat Bantu Ajar

No.	Kepentingan	Kriteria Evaluasi	Subkriteria Evaluasi (EC)	Ranking	Pembobot (%)
1.	Mahasiswa (60%) Meningkatkan Pemahaman Mahasiswa (50%)	Mampu	EC 1 : Bagaimana buckling pada kolom terjadi?	1	2%
			EC 2 : Bagaimana cara menghitung beban kritis buckling?		4%
			EC 3 : Bagaimana menentukan modulus buckling pada kolom?		6%
			EC 4 : Bagaimana bentuk penampang dan panjang mempengaruhi harga beban kritis buckling?		4%
			EC 5 : Bagaimana menentukan arah buckling?		2%
			EC 6 : Bagaimana jenis tumpuan mempengaruhi beban kritis?		6%
			EC 7 : Bagaimana cacat geometri mempengaruhi beban kritis?		6%
			EC 8 : Bagaimana esentrisitas beban mempengaruhi beban kritis buckling?		6%
			EC 9 : Bagaimana menghitung panjang minimum kolom yang menyebabkan kegagalan buckling?		4%
			EC10: Bagaimana penggunaan standar desain dalam perancangan buckling?		10%
	Menggali Keingintahuan (10%)		EC11: Bentuknya menarik	4	4%
			EC12: Mudah dipahami		6%
2.	Staf Pengajar (32%)	Hasil Akurat (20%)	EC13: Akurasi hasil baik	2	10%
			EC14: Dapat membantu memperlihatkan konsep kestabilan		10%
		Kemudahan dalam Menyampaikan Materi (12%)	EC15: Mudah digunakan	3	4%
	EC16: Aman untuk dioperasikan	4%			
		EC14: Mudah dibawa ke kelas	4%		
3	Proses Pembuatan (8%)	Proses Pembuatan (8%)	EC18: Proses Pembuatan Mudah	5	4%
			EC19: Biaya Pembuatan		4%

Σ=100%

Skor Utiliti. Setiap subkriteria evaluasi akan diberikan nilai skor utili, yang secara umum diberikan sebagai berikut.

Tabel 3. Skor Utiliti EC

Skor	Keterangan
1	Tidak Paham/Jelek/Mudah/Mahal/Tidak Aman
2	
3	Medium
4	
5	Sangat Paham/Bagus/Murah/Sangat Aman

Alternatif Solusi. Alternatif solusi yang dipertimbangkan dalam makalah ini adalah Model 3D, Simulasi Program dan Poster.

Tabel 3. Alternatif Solusi

Jenis	Keterangan
Model 3D	Berupa model sederhana 3D yang dibuatkan menyerupai bentuk model kolom
Simulasi Program	Berupa model-model numerik yang dapat disimulasi dalam bentuk gambar bergerak maupun grafik
Poster	Berupa gambar/grafik yang bersifat statis

Perbandingan Solusi. Setiap subkriteria evaluasi memiliki bobot tersendiri (lihat Tabel 2) dan nantinya akan dikalikan dengan skor utiliti. Setiap alternatif solusi akan memiliki nilai yang berbeda

untuk setiap kriteria evaluasi. Hasil perbandingan nilai total dari setiap alternatif solusi adalah kumulatif dari hasil perkalian faktor pembobot dengan nilai skor utiliti. Tabel 4 memperlihatkan hasil perbandingan nilai total untuk seluruh alternatif solusi.

Tabel 4 memperlihatkan bahwa bentuk alat bantu ajar yang efektif berdasarkan kriteria evaluasi yang ditentukan di atas adalah Simulasi Program Komputasi. Nilai total yang diberikannya adalah 4,18 dibandingkan Model 3D (3,18) dan Poster (3,56).

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh bahwa alat bantu ajar yang akan dibuat adalah simulasi program. Untuk itu, suatu program komputasi *in-house* berbasis metode elemen hingga yang mempertimbangkan ketidaklinearan geometri dan material dikembangkan untuk menghitung beban kritis buckling dari sekumpulan kolom dalam variasi panjang, tumpuan, cacat geometri dan beban esentrisitas. Hasilnya nanti akan diperbandingkan dengan hasil teoritik yang diperoleh dari persamaan Euler dan standar desain seperti AISC, SSRC dan CRC.

Tabel 4. Hasil perbandingan nilai total untuk setiap alternatif solusi

Subkriteria Evaluasi (EC)	Pembobot (%)	Alternatif Solusi					
		Model 3D		Simulasi Program		Poster	
		Utiliti	Nilai	Utiliti	Nilai	Utiliti	Nilai
EC 1: Bagaimana buckling pada kolom terjadi?	2%	4	0,08	5	0,1	2	0,04
EC 2: Bagaimana cara menghitung beban kritis buckling?	4%	2	0,08	2	0,08	4	0,16
EC 3: Bagaimana menentukan modulus buckling pada kolom?	6%	3	0,18	5	0,30	3	0,18
EC 4: Bagaimana bentuk penampang dan panjang mempengaruhi harga beban kritis buckling?	4%	2	0,08	4	0,16	3	0,12
EC 5: Bagaimana menentukan arah buckling?	2%	4	0,08	3	0,06	2	0,04
EC 6: Bagaimana jenis tumpuan mempengaruhi beban kritis?	6%	4	0,24	4	0,24	3	0,18
EC 7: Bagaimana cacat geometri mempengaruhi beban kritis?	6%	3	0,18	5	0,3	4	0,24
EC 8: Bagaimana esentrisitas beban mempengaruhi beban kritis buckling?	6%	3	0,18	5	0,3	4	0,24
EC 9: Bagaimana menghitung panjang minimum kolom yang menyebabkan kegagalan buckling?	4%	2	0,08	5	0,2	4	0,16
EC10: Bagaimana penggunaan standar desain dalam perancangan buckling?	10%	2	0,2	4	0,4	4	0,4
EC11: Bentuknya menarik	4%	3	0,12	5	0,2	2	0,08
EC12: Mudah dipahami	6%	4	0,24	4	0,24	3	0,18
EC13: Akurasi hasil baik	10%	4	0,4	4	0,4	4	0,4
EC14: Dapat membantu memperlihatkan konsep Kestabilan	10%	4	0,4	4	0,4	3	0,3
EC15: Mudah digunakan	4%	4	0,16	5	0,2	4	0,16
EC16: Aman untuk dioperasikan	4%	3	0,12	5	0,2	4	0,16
EC14: Mudah dibawa ke kelas	4%	3	0,12	5	0,2	4	0,16
EC18: Proses Pembuatan Mudah	4%	3	0,12	2	0,08	5	0,20
EC19: Biaya Pembuatan	4%	3	0,12	3	0,12	4	0,16
		Skor Total	$\Sigma=3,18$		$\Sigma=4,18$		$\Sigma=3,56$

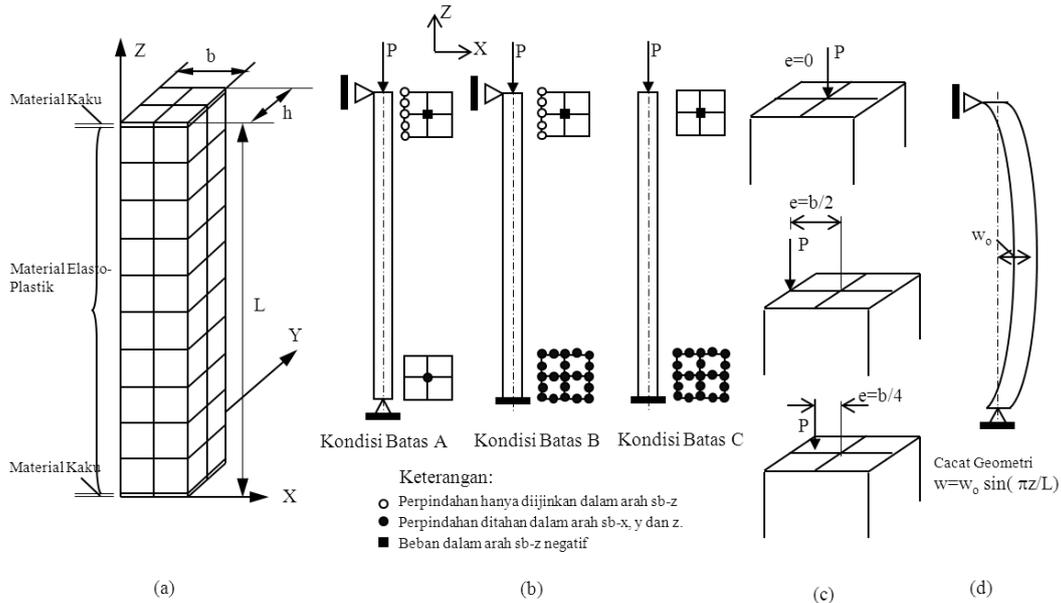
Pemodelan Geometri dan Material. Gambar 3a memperlihatkan struktur kolom dengan panjang, L , dan penampang persegi ($b \times h$) dimodelkan dalam variasi rasio kelangsingan λ , dimana $\lambda = \frac{L}{\sqrt{I/A}}$ seperti yang diberikan oleh Tabel 5. Rasio kelangsingan dipilih dari selang $20 \leq \lambda \leq 200$, yang dianggap cukup mewakili beragam aplikasi struktur kolom di lapangan. Dalam pemodelan numerik, elemen sebelah atas dan bawah, yang berkontak langsung dengan beban dan tumpuan diasumsikan sangat kaku, $E_{rigid} = 1000 \times E$ seperti yang terlihat pada Gambar 3a, sedangkan bagian struktur lainnya dimodelkan dengan elemen yang dapat terdeformasi secara plastis. Hal ini ditujukan untuk menghindari terjadinya deformasi plastis lokal di sekitar lokasi beban terkonsentrasi pada sisi atas struktur dan juga di sekitar tumpuan pada sisi bawah struktur kolom. Selanjutnya, sifat material yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 6.

Pemodelan Kondisi Batas. Tiga jenis kondisi batas diterapkan ke struktur, seperti yang terlihat pada Gambar 3b. Pemilihan ketiga jenis kondisi tumpuan ini didasarkan pada kenyataan bahwa

kondisi tumpuan seperti inilah yang hampir mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. Secara teknis, kondisi batas pertama (Tipe A) memodelkan tumpuan bawah sebagai tumpuan pin dan tumpuan atas sebagai *roller*. Sedangkan kondisi batas kedua (Tipe B) menjadikan tumpuan bawah sebagai tumpuan jepit dan tumpuan atas juga sebagai *roller*. Kemudian kondisi batas yang ketiga (Tipe C) dengan tumpuan bagian bawah jepit dan bagian atas bebas.

Pemodelan Beban. Untuk kasus yang mengharuskan beban diterapkan pada garis sumbu struktur, maka beban awal sebesar P diterapkan pada sumbu netral kolom (titik berat penampang), akan tetapi untuk kasus yang melibatkan beban esentrisitas, maka beban tersebut diletakkan sejauh e dari titik berat penampang, dimana $e = b/4$ dan $e = b/2$ seperti terlihat pada Gambar 3c.

Pemodelan Cacat Geometri. Cacat geometri didefinisikan sebagai perubahan geometri struktur dalam arah sb-z terhadap garis sumbu struktur kolom. Perubahan geometri ini diasumsikan sebagai suatu fungsi sinus [1] sebagaimana yang ditunjukkan oleh Pers. (1):



Gambar 3. (a) Pemodelan Struktur Kolom, (b). Pemodelan Kondisi Batas (c). Beban Essentrisitas, (d). Cacat Geometri

Tabel 4. Geometri Struktur Kolom

Model	b=h (mm)	L (mm)	I (mm ⁴)	A (mm ²)	λ
M1	100	500	8.33×10 ⁶	10 ⁴	17.3
M2	100	1000	8.33×10 ⁶	10 ⁴	34.6
M3	100	1500	8.33×10 ⁶	10 ⁴	51.9
M4	100	2000	8.33×10 ⁶	10 ⁴	69.2
M5	100	2500	8.33×10 ⁶	10 ⁴	86.6
M6	100	3000	8.33×10 ⁶	10 ⁴	103.9
M7	100	3500	8.33×10 ⁶	10 ⁴	121.2
M8	100	4000	8.33×10 ⁶	10 ⁴	138.6
M9	100	4500	8.33×10 ⁶	10 ⁴	155.9
M10	100	5000	8.33×10 ⁶	10 ⁴	173.2

Tabel 5. Sifat Material

Modulus Elastisitas (E) – (N/mm ²)	210000
Rasio Poison (ν)	0.3
Tegangan Luluh (σ _y) – (N/mm ²)	270
Model Tegangan-Regangan	<i>Bi-Linear</i>
Kriteria Luluh	<i>Von-Misses</i>
<i>Flow Rule</i>	<i>Associated</i>
<i>Hardening Rule</i>	<i>Isotropic</i>
<i>Hardening Parameter</i>	E/100

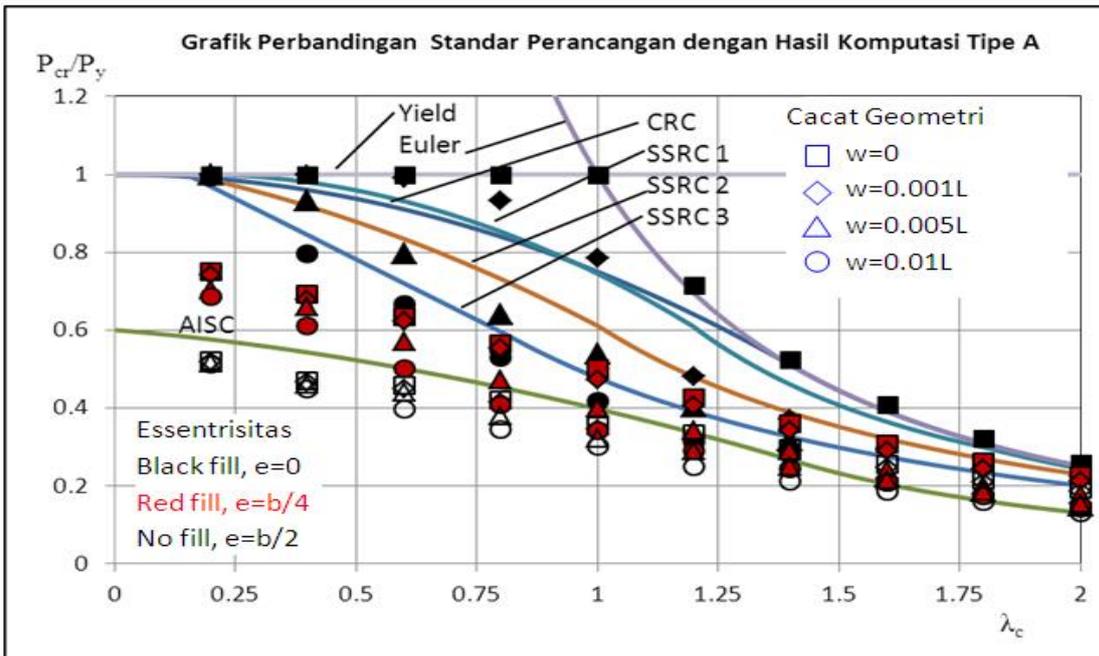
$$w = w_0 \sin\left(\frac{\pi \cdot z}{L}\right) \quad (1)$$

dimana w menyatakan simpangan, w_0 menyatakan amplitudo simpangan pada $z = L / 2$, dan L adalah panjang struktur seperti terlihat pada Gambar.1d. Pada makalah ini harga w_0 yang dipilih adalah sebesar $w_0 = 0,001L$; $0,05L$; dan $0,01L$.

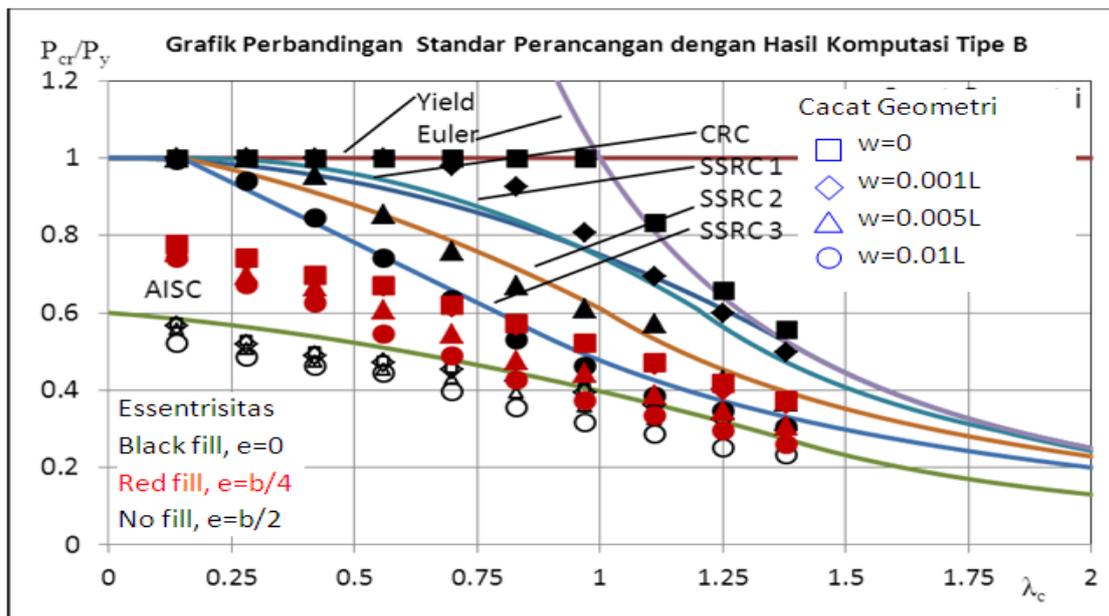
Hasil Simulasi dan Komputasi. Gambar 4, 5 dan 6 berturut-turut memperlihatkan hasil penghitungan beban kritis struktur kolom akibat beban tekan

aksial secara numerik untuk struktur dengan kondisi batas Tipe A, B dan C dalam perbandingan dengan persamaan desain yang diberikan oleh standar-standar perancangan yaitu AISC, SSRC dan CRC.

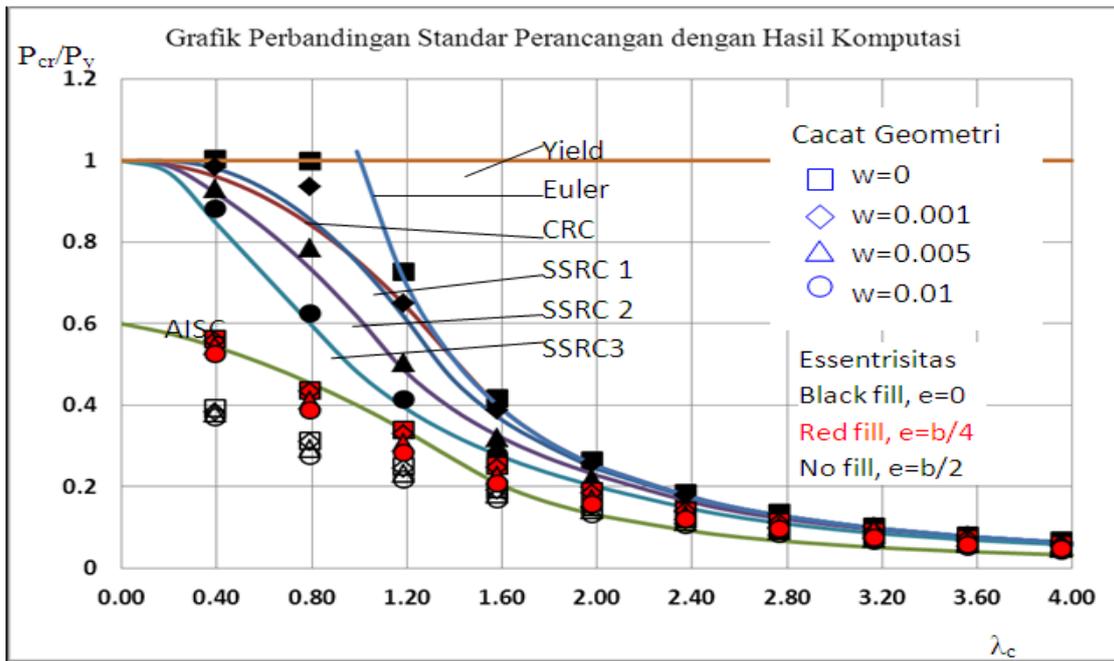
Hasil yang diberikan ini secara umum dapat digunakan untuk menjelaskan konsep kestabilan pada kolom. Beberapa pertanyaan yang diajukan mahasiswa seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2 dapat dijelaskan melalui hasil-hasil simulasi program ini.



Gambar 4. Hasil Perbandingan Beban Kritis Struktur Kolom dibawah Beban Tekan Aksial dengan Standar-Standar Perancangan untuk Kondisi Batas Tipe A [2]



Gambar 5. Hasil Perbandingan Beban Kritis Struktur Kolom dibawah Beban Tekan Aksial dengan Standar-Standar Perancangan untuk Kondisi Batas Tipe B [2]



Gambar 6. Hasil Perbandingan Beban Kritis Struktur Kolom dibawah Beban Tekan Aksial dengan Standar- Standar Perancangan untuk Kondisi Batas Tipe C [2]

Kesimpulan

Metode *Weighted Objective* dapat digunakan sebagai solusi untuk mendapatkan alat bantu ajar yang paling efektif dalam menjelaskan konsep kestabilan pada kolom. Pemilihan alat dilakukan berdasarkan kriteria evaluasi yang telah ditetapkan sebelumnya yang merupakan hasil akomodasi kepentingan mahasiswa dan staf pengajar.

Penghargaan

Makalah ini merupakan salah satu luaran dari Penelitian Tindakan Kelas (PTK) Universitas Andalas untuk Tahun 2018.

Referensi (tipe indentasi Hanging 0,75 cm)

- [1] Cross, N, *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. John Wiley & Sons, Ltd, 3rd Edition, 2000.
- [2] Satria. E, Bur, M, Satria, R, 2012. *Kaji Perbandingan Hasil Komputasi Kekuatan Kritis Struktur Kolom Baja akibat Beban Tekan Aksial dengan Standar- Standar Perancangan*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin Indonesia (SNTTM) XI, Yogyakarta.