

Analisis Perbandingan *Torsional Stiffness* Antara Metode *Simple Structural Surface* (SSS) dengan Metode Simulasi 3D pada Mobil *Flood Rescue Vehicle* (FRV)

Maulana Hanif Labiib Muchdor dan Julendra Bambang Ariatedja
Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ariatedja@me.its.ac.id

Abstrak—Mobil *Flood Rescue Vehicle* (FRV) merupakan salah satu terobosan yang membantu proses evakuasi korban bencana, terutama banjir. Perancangan mobil FRV juga harus menjadi hal yang harus diperhatikan karena akan berdampak pada penggunaan mobil FRV. Kekakuan struktur menjadi salah satu faktor utama dalam perancangan karena mobil FRV dihadapkan dengan medan yang berat. Uji kekakuan torsional dilakukan dengan variasi beban mempertimbangkan berat dari mobil FRV. Uji kekakuan torsional dengan metode *Simple Structural Surface* (SSS) dan simulasi 3D bisa digunakan untuk mengetahui *torsional stiffness* dari mobil FRV. Untuk pemodelan SSS menggunakan penyederhaan struktur mobil menjadi beberapa panel yang mempermudah konsep dasar dalam pengembangan lanjutan kekakuan struktur mobil FRV. Setelah itu dilakukan perhitungan secara analitis untuk mengetahui gaya yang bekerja pada tiap panel yang digunakan untuk mencari *torsional stiffness* mobil FRV. Untuk simulasi 3D dengan *Finite Element Method* (FEM) dilakukan dengan bantuan *software ANSYS Workbench* dan dipecah menjadi *Beam – based Model of Entire vehicle Cabin* (BMEC) dan *Coupled-beam Surface Model* (CBSM). Dilakukan uji konvergensi untuk menentukan ukuran meshing yang tepat agar mencapai nilai yang paling akurat. *Output* yang diharapkan dari simulasi adalah defleksi aksial dimana dihitung dan menghasilkan nilai *torsional stiffness*. Dari hasil penelitian, didapatkan nilai *torsional stiffness* mobil FRV dengan metode *Simple Structural Surface* (SSS) sebesar 5684,21 N.m⁰, untuk metode simulasi 3D dengan BMEC didapatkan nilai *torsional stiffness* sebesar 922,08 N.m⁰ dan model CBSM sebesar 13721,7 N.m⁰. Dari metode dan model yang dihitung dan disimulasi, CBSM model mendapat nilai yang paling mendekati *range* nilai *torsional stiffness* mobil tipe SUV pada umumnya (20.000 - 37.500 N.m⁰) karena CBSM model merupakan model yang paling mendekati objek sesungguhnya. Dari segi langkah pengerjaan, metode SSS memiliki delapan langkah pengerjaan sedangkan pada simulasi 3D memiliki lima langkah yang dapat disimpulkan bahwa metode SSS memiliki waktu relatif pengerjaan yang lebih lama dibandingkan dengan metode simulasi 3D.

Kata Kunci—BMEC, CBSM, FEM, SSS, *Torsional Stiffness*

I. PENDAHULUAN

BERDASARKAN data yang dirilis oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tahun 2019, banyak sekali bencana alam yang terjadi di Indonesia, terutama banjir. Banjir mengakibatkan 1.513.681 jiwa yang terdampak dan memakan korban jiwa sebanyak 474 jiwa pada tahun 2019. Kejadian serupa terjadi pada tahun 2018 dengan peringkat kejadian terbanyak, jumlah terdampak sekaligus mengungsi dan juga jumlah korban jiwa di wilayah Jawa Timur, Indonesia.



Gambar 1. Mobil *Flood Rescue Vehicle* (FRV) BPBD Gresik, Jawa Timur.

Tabel 1.
Spesifikasi mobil FRV

Spesifikasi Mobil <i>Flood Rescue Vehicle</i> (FRV)		
Dimensi		
Jarak Sumbu Roda	mm	3095
Panjang Keseluruhan	mm	3975
Lebar Keseluruhan	mm	1970
Tinggi Keseluruhan	mm	2250
Ground Clearance	mm	550
Berat		
<i>Sprung Mass (Wsprung)</i>	kg	3270

Dari data bencana alam yang ada pada tahun 2018 dan 2019, pada tahun 2019 pihak Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Gresik, Jawa Timur membuat sebuah terobosan pembuatan mobil FRV (*Flood - Rescue Vehicle*), dapat dilihat pada Gambar 1.. Mobil yang dibuat dari hasil Kerjasama antara BPBD Gresik, Jawa Timur dengan PT. Karya Tugasanda ini dibuat dengan tujuan yang pertama adalah mobil mampu beradaptasi dengan medan banjir, lalu yang kedua yakni bisa mengevakuasi korban bencana alam dan yang ketiga mampu melalui medan *off-road*. Tuntutan yang ada pada medan bencana alam yang mengharuskan mobil ini membawa muatan atau alat evakuasi sehingga mobil ini juga dilengkapi perahu karet, gergaji dan alat evakuasi lainnya.

Dilihat dari struktur mobil, mobil yang mampu membawa korban evakuasi bencana sekaligus peralatan evakuasi bencana harus memiliki struktur yang kuat. Mobil Mitsubishi Triton yang berhasil dimodifikasi oleh PT. Karya Tugasanda ini mengalami perubahan struktur pada *body* mobil dan untuk struktur *chassis* sebagai penopang *body* atas dan mesinnya

Tabel 2.
Spesifikasi material AISI 1018 mobil FRV

Properties	Metric
Density	7,87 g/cc
Tensile strength, ultimate	440 Mpa
Tensile strength, yield	370 Mpa
Modulus of Elasticity	205 Gpa
Bulk Modulus	140 Gpa
Shear Modulus	80.0 Gpa

Tabel 3.
Variasi pembebanan

Gaya yang digunakan (N)	
0,1 x <i>Wsprung</i>	3204.6
0,2 x <i>Wsprung</i>	6409.2
0,3 x <i>Wsprung</i>	9613.8
0,4 x <i>Wsprung</i>	12818.4
0,5 x <i>Wsprung</i>	16023
0,6 x <i>Wsprung</i>	19227.6
0,7 x <i>Wsprung</i>	22432.2
0,8 x <i>Wsprung</i>	25636.8
0,9 x <i>Wsprung</i>	28841.4
1 x <i>Wsprung</i>	32046

Tabel 4.
Geometri panel SSS

Huruf	Ukuran (mm)	Huruf	Ukuran (mm)
a	1800	e	2920
b	940	f	870
c	1000	g	1500
d	4700	h	3580

tidak ada perubahan. Dan dari mobil ini mengalami modifikasi di bagian *electrical* dengan tujuan untuk meningkatkan keamanan pada saat mobil ini turun ke medan banjir ataupun *off-road*.

Kegagalan dalam perancangan sebuah mobil merupakan hal yang harus dihindari terutama ketika mobil akan diproduksi secara massal karena akan berakibat rusaknya mobil pada saat penggunaan yang bisa berujung pada kecelakaan. Oleh karena itu dibutuhkan proses pengujian terhadap mobil terlebih dahulu agar bisa mengkalkulasi kekuatan mobil dan bisa mulai untuk diproduksi baik dalam jumlah kecil ataupun jumlah besar. Salah satu faktor dari kekuatan mobil adalah *torsional stiffness*. *Torsional stiffness* berperan besar dalam mempertahankan keutuhan struktur ketika dikenai beban torsional dan juga kenyamanan dari penggunaan suatu kendaraan ketika dikenai beban torsi [1]. Dalam penelitian ini, proses pengujian mobil untuk mencari *torsional stiffness* dilakukan dengan uji torsi terhadap mobil FRV dengan beberapa metode.

Ada berbagai macam metode pengujian untuk mendapat hasil kekuatan struktur, salah satunya ada metode simulasi 3D menggunakan *software* dan ada metode *Simple Structural Surface* (SSS). Metode SSS kali ini sebagai salah satu metode dengan penyederhanaan sebuah struktur mobil yang bisa mempersingkat waktu dari segi perancangan secara keseluruhan dan dibantu dengan perhitungan analitis dan juga sedikit bantuan *software* [2]. Untuk metode simulasi 3D pada umumnya menggunakan bantuan *software* dengan memodelkan dua pemodelan yakni Beam – Based Model of the Entire vehicle Cabin (BMEC) dan Coupled – beam Surface Model (CBSM). Untuk penelitian kali ini, perbedaan metode ini akan dibandingkan untuk mengetahui letak perbedaan dari kedua metode ini. BMEC model merupakan pemodelan struktur kendaraan dengan beam element yang

Tabel 5.
Uji konvergensi model BMEC

size mesh (mm)	nodes	element	defleksi (mm)	error (%)
100	2057	1060	3,3768	-
90	2241	1152	3,3769	0,002961
80	2517	1290	3,3769	0
70	2829	1446	3,3770	0,002961
60	3269	1666	3,3770	0
50	3873	1968	3,3770	0
40	4841	2452	3,3771	0,002961
30	6389	3226	3,3771	0
20	9505	4784	3,3771	0
10	18817	9440	3,3771	0

Tabel 6.
Uji konvergensi model CBSM

size mesh (mm)	nodes	element	defleksi (mm)	error (%)
100	35397	32010	0,25428	-
90	35397	32008	0,2542	0,031461
80	35422	32028	0,25375	0,177026
70	35576	32175	0,25441	0,260099
60	36028	32612	0,25334	0,420581
50	37025	33583	0,25458	0,489461
40	39461	35980	0,255988	0,553068
30	53989	50070	0,25716	0,457834
20	112950	107345	0,27476	6,843988
10	428502	417549	0,29608	7,759499

bertujuan untuk mengeliminasi kerugian dari penggunaan metode SSS [3] [4]. CBSM model merupakan pemodelan struktur dengan beam dan surface element yang bertujuan untuk menghasilkan nilai yang lebih akurat dalam proses pengujian [3] [4]

over text” tidak dicentang).

II. METODE PENELITIAN

A. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain mobil FRV, spesifikasi mobil FRV dan material yang dijadikan batasan dalam proses penelitian ini mengacu pada data lapangan material yang digunakan mobil FRV. Data yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 [5] [6].

B. Variasi Pembebanan

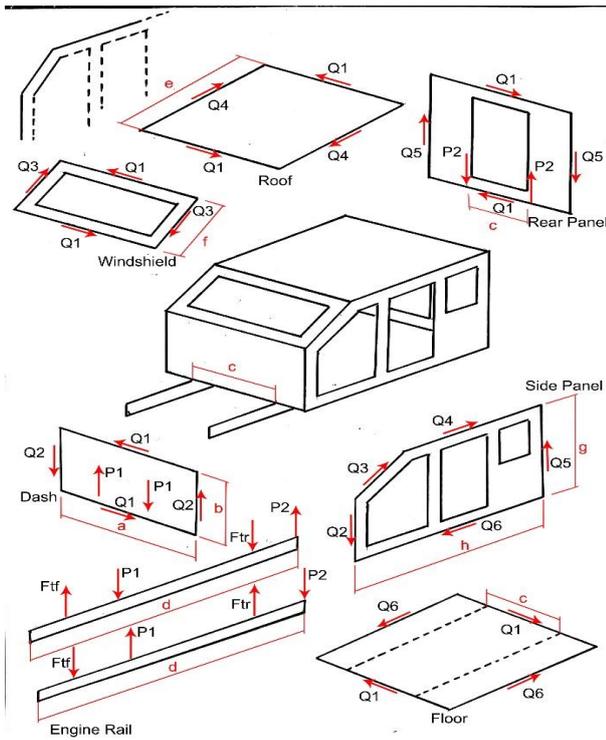
Digunakan variasi pembebanan menggunakan sprung masses pada persamaan

$$Wsprung = msprung \cdot g \tag{1}$$

dimana sprung masses atau msprung yang digunakan sebesar 3270 kg dengan gravitasi sebesar 9,8 m/s² dan sesuai pada tabel 3.

C. Torsional Stiffness dengan Metode SSS

Untuk mendapatkan nilai torsional stiffness dengan metode SSS dilakukan: (1) Dari desain mobil FRV yang didapatkan, dilakukan penyederhanaan struktur kendaraan menjadi beberapa panel yang merepresentasikan keseluruhan struktur seperti pada gambar 2 dan tabel 4; (2) Mobil FRV yang sudah dimodelkan dengan metode SSS diberi beban sesuai pada gambar 2 lalu dihitung gaya tepi (Q) berdasarkan *Free Body Diagram* yang dihasilkan dari tiap – tiap panel; (3) Dari nilai gaya tepi yang sudah didapatkan, dilakukan kalkulasi modulus geser efektif (G.t)_{eff}. Pengecualian pada bagian *sideframe* model SSS dari mobil FRV dari bantuan



Gambar 2. Geometri dan *Free Body Diagram* SSS model.

software ANSYS Workbench untuk simulasi mencari defleksi aksial (δ) seperti pada gambar 4 dan persamaan

$$(G \cdot t)_{eff} = \left(\frac{F}{\delta}\right) \cdot \left(\frac{H}{L}\right) \quad (2)$$

Dengan F merupakan gaya yang bekerja pada tepi atas sideframe (Q_4), δ merupakan defleksi aksial dari gaya yang dihasilkan, H merupakan ketinggian *wheelbase* (mm) dan L merupakan panjang *wheelbase* (mm); (4) Dari hasil perhitungan keseluruhan modulus geser efektif, nilai torsional stiffness bisa didapatkan dari persamaan torsional strain energy dan elastic strain energy :

$$K_T = \frac{1}{\left(\frac{q}{T}\right)^2 \sum_1^i \left[\frac{\text{area of surface } i}{(G \cdot t)_{eff}}\right]_{surf i}} \quad (3)$$

$$K_T = \frac{(2 \cdot w \cdot h)^2}{\sum_1^i \left[\frac{\text{area of surface } i}{(G \cdot t)_{eff}}\right]_{surf i}} \quad (4)$$

$$q = \frac{Q_i}{\text{sisi tepi } Q_i \text{ yang diterapkan}} \quad (5)$$

q merupakan shear flow (N/m) yang terjadi pada tepi panel [7].

D. Torsional Stiffness dengan Metode Simulasi 3D

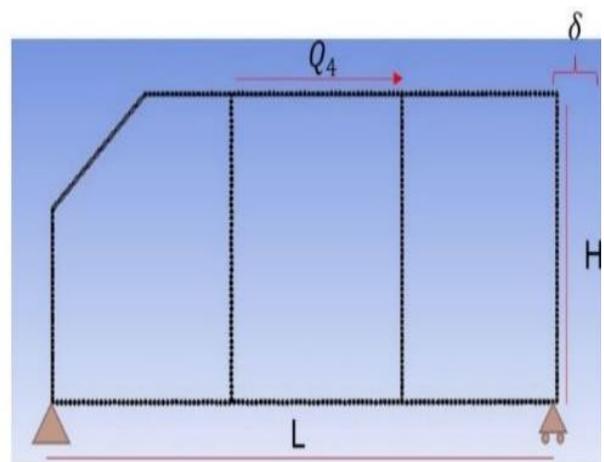
Setelah didapatkan desain dari mobil FRV, dilakukan pemodelan menjadi dua model, yakni BMEC model dan CBSM model. Tiap model diberi beban dengan variasi beban sesuai pada tabel 3. Setelah didapatkan defleksi aksial (Δy_1 dan Δy_2), maka dihitung derajat puntir dan torsional stiffness dengan rumus:

$$K_T = \frac{T}{\text{derajat puntir}} = \frac{F \cdot L}{\tan^{-1} \left(\frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{2L}\right)} \quad (6)$$

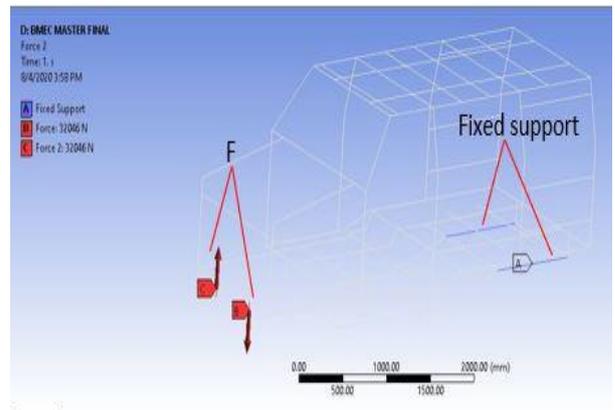
Sehingga dapat dicari nilai torsional stiffness (K_T) [7],[8].

E. Meshing pada Metode Simulasi 3D

Uji konvergensi dilakukan pada model BMEC dan model CBSM. Pada uji ini didapatkan nilai defleksi aksial akibat



Gambar 3. Setup simulasi sideframe untuk mencari defleksi aksial (δ).



Gambar 4. *Boundary condition* model BMEC.

dari torsi yang diberikan. Variabel yang berubah dari uji konvergensi ini adalah ukuran elemen meshing. Dari nilai – nilai yang didapatkan, dicari nilai yang memiliki percentage error yang paling kecil dibawah 5%.

Pada pengujian model BMEC, diambil ukuran 10 mm karena ukuran tersebut memiliki percentage error yang paling kecil yakni 0% dan jumlah elemen yang paling banyak guna mencapai nilai yang lebih akurat berdasarkan tabel 5.

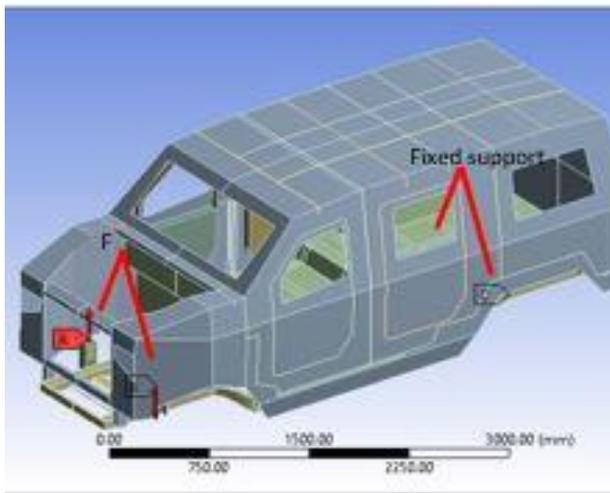
Pada pengujian model CBSM, diambil ukuran 90 mm karena ukuran tersebut memiliki percentage error yang paling kecil yakni 0,031461% dan jumlah elemen yang paling banyak guna mencapai nilai yang lebih akurat berdasarkan tabel 6.

F. Boundary Condition Uji Torsi pada Metode Simulasi 3D

Pada simulasi 3D pada model BMEC dan CBSM, kedua model akan diberikan tumpuan berupa tumpuan tetap pada kedua bagian belakang chassis yang tepatnya pada mounting suspension belakang dan beban yang bekerja yang diberikan pada bagian depan chassis pada bagian mounting suspension sebesar F seperti pada gambar 4 dan gambar 5.

G. Verifikasi Hasil

Dilakukan verifikasi hasil penelitian dengan objek box verifikator dengan ukuran panjang 4700 mm, lebar 1800 mm dan tinggi 1500 mm. Box verifikator diberi beban torsi dengan nilai bebas (digunakan 1000 N) pada bagian kanan dan kiri depan untuk mencari nilai *torsional stiffness* sebagai verifikator hasil perhitungan struktur mobil FRV dengan metode SSS dan Simulasi 3D.



Gambar 5. Boundary condition model CBSM.

Tabel 7. Contoh perhitungan *torsional stiffness* dengan metode SSS dengan variasi beban 0,1Wsprung

Panel	Area of Surface (mm ²)	Shear Modulus (N/m ²)	Tebal Panel (m)	(G.t)eff	Area of surf/(G.t)eff	TS (N.m ⁰)
Dash	1692000	80000	3	240000	7,05	
Windshield	1566000	80000	3	240000	6,525	
Roof	5256000	80000	3	240000	21,9	
Rear frame	2700000	80000	3	240000	11,25	5684,1483
Floor	6444000	80000	3	240000	26,85	
Side frame	5185200	-	-	8.34	621726	
Jumlah (Area of surf / (G.t)eff)					621799	

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan Torsional Stiffness dengan Metode SSS

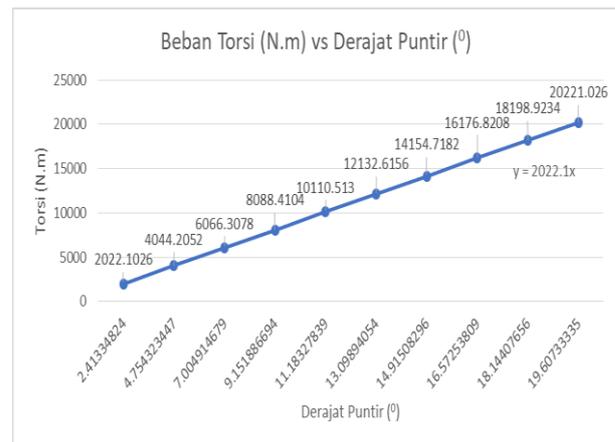
Digunakan variasi pembebanan 0,1Wsprung – 1Wsprung terhadap struktur mobil FRV dengan model SSS untuk mendapatkan gaya tepi (Q) yang bekerja pada tiap panel dengan bantuan matriks perhitungan

$$\begin{bmatrix} 940 & 1800 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 870 & 0 & -1800 & 0 & 0 & 0 \\ 2920 & 0 & 0 & -1800 & 0 & 0 \\ 1500 & 0 & 0 & 0 & 1800 & 0 \\ 3580 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1800 \\ 0 & -1831.03 & 1533.76 & 764.16 & -1748.97 & 735.84 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Wsprung.1000 \\ 0 \\ 0 \\ Wsprung.1000 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Didapatkan gaya tepi (Q) dengan variasi beban 0.1Wsprung – 1Wsprung seperti pada tabel 3. Gaya tepi (Q) yang didapatkan kemudian dimasukkan kedalam persamaan torsional strain energy dan elastic strain energy dengan w merupakan lebar dari lengan torsi sebesar 1000 mm dan h

Tabel 8. Nilai *torsional stiffness* dengan variasi beban 0,1Wsprung - 1Wsprung

Gaya yang digunakan uji torsi (N)	Torsional Stiffness (N.m ⁰)
0,1 x Wsprung	3204,6
0,2 x Wsprung	6409,2
0,3 x Wsprung	9613,8
0,4 x Wsprung	12818
0,5 x Wsprung	16023
0,6 x Wsprung	19228
0,7 x Wsprung	22432
0,8 x Wsprung	25637
0,9 x Wsprung	28841
1 x Wsprung	32046



Gambar 6. Grafik beban torsi vs derajat puntir model BMEC.

merupakan ketinggian dari dash mobil sebesar 940 mm. Untuk perhitungan *torsional stiffness*, bagian sideframe menggunakan *modulus shear effective* yang defleksi aksial (δ) itu sendiri didapat dari hasil simulasi ANSYS Workbench dengan H yakni merupakan ketinggian wheelbase sebesar 1500 mm dan L merupakan panjang wheelbase dengan Panjang 3580 mm.

Untuk proses pencarian defleksi aksial dengan menggunakan software ANSYS Workbench, proses *meshing* daripada sideframe menggunakan fitur *automatic mesh* pada software. Didapatkan nilai *torsional stiffness* dengan metode SSS dengan variasi pembebanan 0,1Wsprung – 1Wsprung sesuai pada tabel 8. Didapatkan rata – rata nilai *torsional stiffness* dengan metode SSS berdasarkan tabel 8 sebesar 5684,21 N.m⁰.

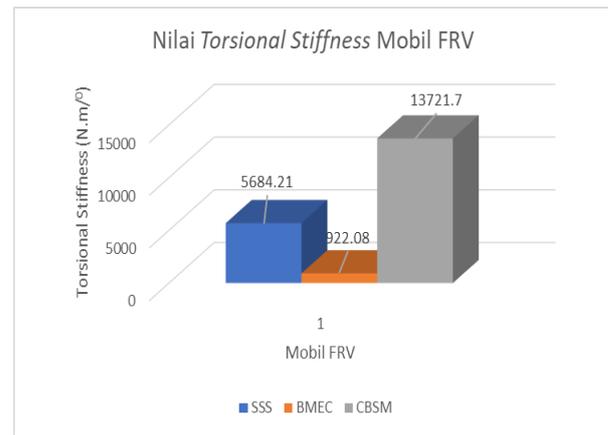
B. Hasil Perhitungan Torsional Stiffness dengan Metode Simulasi 3D dengan model BMEC

Struktur mobil FRV dengan model BMEC diberi variasi pembebanan 0,1Wsprung – 1Wsprung dan didapatkan defleksi aksial pada tiap pembebanan. Dari hasil defleksi yang didapatkan, kemudian dihitung derajat puntir (°) yang dihasilkan sesuai pada gambar 6.

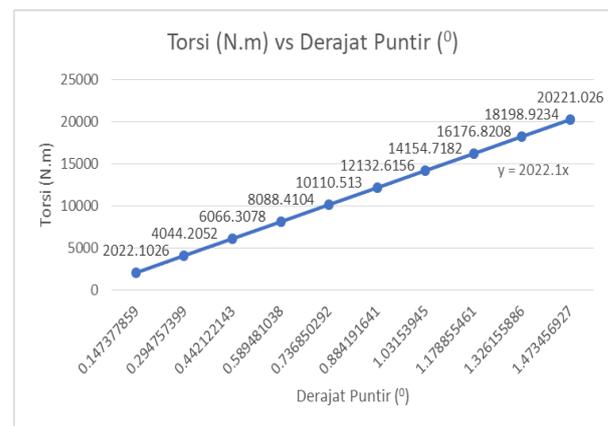
Dapat dilihat bahwa dari torsi yang diberikan pada gambar 6, grafik hasil sudut puntir memiliki *trendline* yang naik berbanding lurus dengan torsi yang diberikan (0.1Wsprung hingga 1Wsprung). Hal ini sudah sesuai dengan rumus *torsional stiffness* dimana torsi yang diberikan bernilai konstan dengan sudut puntir yang dihasilkan dan berbanding lurus. Didapatkan nilai *torsional stiffness* dengan model BMEC sesuai pada tabel dan didapatkan rata – rata 922,08 N.m⁰.

Tabel 9. Jumlah dan langkah setiap metode dalam mencari nilai *torsional stiffness*

No.	SSS	Langkah Simulasi 3D	
		BMEC	CBSM
1	Penyederhanaan mobil FRV dengan SSS model	pemodelan mobil FRV dengan CAD	pemodelan mobil FRV dengan CAD
2	Penentuan beban torsi yang diberikan	penentuan beban torsi yang diberikan	penentuan beban torsi yang diberikan
3	Pembuatan <i>Free Body Diagram</i> dari setiap panel SSS	setup simulasi (<i>boundary condition</i>)	setup simulasi (<i>boundary condition</i>)
4	Perhitungan gaya tepi (Q) berdasarkan <i>Free Body Diagram</i> tiap panel SSS	Didapatkan hasil defleksi setelah diberi uji torsi	Didapatkan hasil defleksi setelah diberi uji torsi
5	Mencari defleksi <i>sideframe</i> dengan software ANSYS <i>Workbench</i>	Mencari <i>torsional stiffness</i> dengan rumus $K=T/\theta$	Mencari <i>torsional stiffness</i> dengan rumus $K=T/\theta$
6	Perhitungan <i>effective shear rigidity</i> setiap panel		
7	Perhitungan <i>torsional stiffness</i> dengan persamaan <i>torsional strain energy</i> dengan <i>elastic strain energy</i>		
8	Nilai <i>torsional stiffness</i> dengan SSS didapatkan		



Gambar 7. Nilai *torsional stiffness* mobil FRV.



Gambar 8. Grafik beban torsi vs derajat puntir model CBSM.

C. Hasil Perhitungan *Torsional Stiffness* dengan Metode Simulasi 3D dengan model CBSM

Struktur mobil FRV dengan model BMEC diberi variasi pembebanan 0.1Wsprung – 1Wsprung dan didapatkan defleksi aksial pada tiap pembebanan. Dari hasil defleksi yang didapatkan, kemudian dihitung derajat puntir (°) yang dihasilkan sesuai pada gambar 7.

Dapat dilihat bahwa dari torsi yang diberikan pada gambar 7, grafik hasil sudut puntir memiliki *trendline* yang naik berbanding lurus dengan torsi yang diberikan (0,1Wsprung - 1Wsprung). Hal ini sudah sesuai dengan rumus *torsional stiffness* dimana torsi yang diberikan bernilai konstan dengan sudut puntir yang dihasilkan dan berbanding lurus. Didapatkan nilai *torsional stiffness* dengan model BMEC sesuai pada tabel dan didapatkan rata – rata 13721,7 N.m/°.

D. Verifikasi Hasil

Didapatkan Hasil perhitungan *torsional stiffness* box verifikator yang digunakan untuk verifikasi hasil perhitungan kedua metode sesuai pada gambar 8 yang diberi uji torsi. Dapat dilihat hasil perhitungan struktur mobil FRV dengan metode SSS dan simulasi 3D sesuai pada gambar 8.

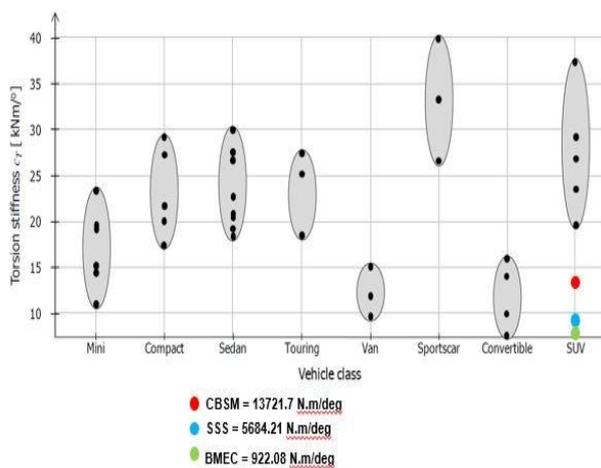
Dari hasil yang didapatkan berdasarkan grafik pada gambar 8 dan gambar 9, dapat dilihat bahwa model CBSM pada box verifikator dan mobil FRV memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan model yang lain. Sedangkan pada model SSS, pada box verifikator dan mobil FRV menempati posisi kedua tertinggi setelah model CBSM. Nilai

torsional stiffness pada box verifikator dan mobil FRV dengan model BMEC menempati posisi terbawah dibandingkan dengan nilai keseluruhan model.

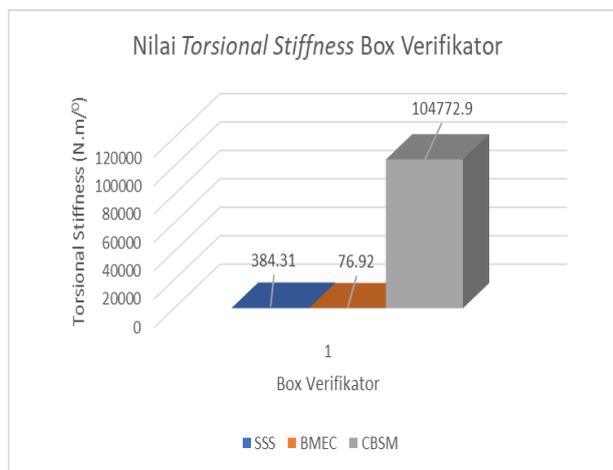
Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa variasi metode (SSS, BMEC dan CBSM) mencari nilai *torsional stiffness* yang diterapkan pada objek yang berbeda memiliki perbandingan hasil yang sama. Adanya jarak yang jauh pada nilai *torsional stiffness* model CBSM dengan yang lain bisa dipengaruhi karena adanya faktor geometri objek yang digunakan dan juga jumlah *meshing* yang digunakan dalam simulasi.

E. Analisis Perbandingan Metode SSS dengan Metode Simulasi 3D

Didapatkan nilai *torsional stiffness* rata – rata dari ketiga metode berdasarkan hasil perhitungan metode SSS, dan simulasi 3D (model BMEC dan CBSM) sesuai dengan gambar 10. Dari segi hasil *torsional stiffness* tiap metode didapatkan nilai yang paling mendekati dari komparasi dengan nilai *torsional stiffness* dari range SUV yakni adalah simulasi 3D dengan model CBSM. Sedangkan nilai *torsional stiffness* yang dihasilkan dari metode BMEC berada pada nilai yang paling rendah sebesar 1409,48 N.m/° dibandingkan dengan nilai *torsional stiffness* metode CBSM dan SSS. Sedangkan metode SSS menempati nilai kedua dengan nilai *torsional stiffness* sebesar 5684,21 N.m/° dibandingkan dengan range nilai *torsional stiffness* SUV pada umumnya. Berdasarkan hasil yang didapat, metode CBSM merupakan metode yang lebih merepresentasikan nilai aktual atau metode yang lebih mencapai nilai mobil SUV pada umumnya dibandingkan dengan metode yang lain.



Gambar 9. Komparasi nilai *torsional stiffness* mobil FRV.



Gambar 10. Nilai *torsional stiffness* box verifikator.

Hal ini disebabkan karena model CBSM yang paling merepresentasikan struktur mobil FRV aslinya, namun dengan modifikasi pemodelan menggunakan *surface* dan *beam element*. Dibandingkan dengan model dan metode lain yang banyak mereduksi dari seluruh struktur mobil FRV atau memodelkan struktur – struktur pada mobil FRV yang memiliki peran krusial seperti *ladder chassis*, *pillar sideframe* dan *dash* mobil. Bisa dilihat pada model SSS, lekukan pada mobil FRV yang sesungguhnya seharusnya ada yang bisa berdampak terhadap kekakuan dari struktur ditiadakan karena metode SSS merupakan metode penyederhanaan dari tiap – tiap panelnya. Pada model BMEC, nilai *torsional stiffness* yang didapatkan bisa sangat rendah dibandingkan dengan yang lainnya yakni adanya penyederhanaan seperti contoh pada *ladder chassis* yang disederhanakan dengan mencari titik tengah dari lubang *ladder chassis* dan dijadikan sebagai titik penampang *beam element*. Faktor ketebalan sangat berpengaruh dalam pencarian nilai *torsional stiffness* hal ini juga selaras dengan rumus dalam mencari nilai *torsional stiffness* yang mempertimbangkan ketebalan dari suatu objek.

Berdasarkan tabel 9, langkah – langkah yang harus dilakukan dalam pencarian nilai *torsional stiffness* mobil FRV, metode SSS merupakan metode dimana langkah dalam pencarian nilai *torsional stiffness* lebih banyak dibandingkan dengan metode yang lainnya sebanyak delapan langkah dibandingkan dengan metode simulasi yang hanya melakukan lima langkah. Diharuskan mencari detail gaya –

gaya yang terjadi akibat pembebanan torsi terlebih dahulu dan setelah itu dilakukan perhitungan menggunakan persamaan *torsional strain energy* dan *elastic strain energy* dalam pencarian nilai *torsional stiffness*.

Dapat dilihat bahwa model BMEC dan CBSM memiliki jumlah langkah yang sama dalam mencari nilai *torsional stiffness* yang dimana mengharuskan untuk melakukan pemodelan terhadap mobil yang akan dikenai uji torsi. Setelah uji torsi diberikan lalu dilakukan pencarian defleksi menggunakan *deformation probe* pada *software ANSYS Workbench* untuk mengetahui seberapa besar defleksi yang disebabkan pembebanan torsi. Lalu dilakukan perhitungan sudut akibat pembebanan torsi yang telah diberikan dan bisa menemukan nilai *torsional stiffness* dari stuktur mobil FRV.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut : (1) Dari hasil yang didapatkan oleh penelitian ini, nilai kekakuan struktur atau *torsional stiffness* yang didapatkan menggunakan metode *Simple Structural Surface* (SSS) sebesar 5684,21 N.m⁰ dengan beban torsi yang diaplikasikan pada model SSS ini sebesar 0,1Wsprung hingga 1Wsprung.; (2) Pada metode simulasi 3D, digunakan beberapa metode dan model yang divariasikan dengan dua metode, yakni *Beam-based Model of the Entire vehicle Cabin* (BMEC) dan *Coupled – Beam Surface Model* (CBSM). Kedua model diberi beban torsi sebesar 0,1Wsprung hingga 1Wsprung dan didapatkan nilai kekakuan struktur atau *torsional stiffness* pada model BMEC dan CBSM sebesar; (a) Nilai *torsional stiffness* dengan model BMEC didapatkan sebesar 922,08 N.m⁰; (b) Nilai *torsional stiffness* dengan model CBSM didapatkan sebesar 13721,7 N.m⁰; (3) Perbandingan hasil dari metode *Simple Structural Surface* (SSS) dibanding dengan nilai *torsional stiffness* mobil SUV (*range* nilai 20000 – 37500 N.m⁰) pada umumnya memiliki selisih sebesar 14315,79 N.m⁰, model BMEC memiliki selisih sebesar 19077,92 N.m⁰ sedangkan selisih dari model CBSM sebesar 6278,3 N.m⁰ yang dimana model CBSM memiliki nilai yang lebih merepresentasikan mobil FRV (SUV) pada umumnya. Dari segi langkah pengerjaan metode, metode SSS memiliki delapan langkah pengerjaan yang dimana lebih banyak dengan metode simulasi 3D (BMEC dan CBSM) yang hanya memiliki lima langkah pengerjaan dimana metode SSS lebih banyak memakan waktu dalam proses pencarian nilai *torsional stiffness* dibanding dengan metode simulasi 3D.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Krzikalla, J. Mesicek, J. Petru, A. Sliva, and J. Smirau, "Analysis of torsional stiffness of the frame of a formula student vehicle," *J. Appl. Mech. Eng.*, vol. 08, no. 01, pp. 1–5, 2019, doi: 10.35248/2168-9873.19.8.315.
- [2] J. C. Brown, A. J. Robertson, and S. T. Serpento, *Motor Vehicle Structures : Concepts and Fundamentals*. Oxford ; Bosto: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [3] I. Wood, A. Barari, and E. Esmailzadeh, "Using the simple structural beam (ssb) model to optimize and analyze automotive structures for bending stiffness and natural frequency," in *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 2014, vol. 3, no. November, doi: 10.1115/DETC2014-35549.
- [4] M. H. Shojaeefard, A. Khalkhali, M. Sarmadi, and N. Hamzehi, "Investigation of design parameters for increased solar potential of dwellings and neighborhoods," *Lat. Am. J. Solids Struct.*, vol. 12, no. 10, 2015.

- [5] M. Mitsubishi, "All New Triton Sport Utility Double Cabin." PT. Krama Yudha Tiga Berlian Motors, Jakarta, 2015.
- [6] MatWeb's, "AISI 1018 Steel, cold drawn," *MatWeb, LLC* .
- [7] S. Tebby, "Methods to determine torsion stiffness in an automotive chassis," *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 8, no. PACE, pp. 67–75, 2011, doi: 10.3722/cadaps.2011.pace.67-75.
- [8] R. . Kawade and Mohan, "Chassis frame torsional stiffness analysis," *Chass. Fram. Torsional Stiffness Anal.*, vol. 3, no. 8, 2015.