

Pengaruh Jumlah Las Titik Pada Struktur Berdinding Tipis Berpenampang Bulat Terhadap Kriteria *Crashworthiness*

JOS ISTIYANTO, VIRSYA PRAMESTI SALSABILA

ABSTRACT

Crashworthiness of the vehicle plays important role in protecting the passengers during collision. It can be improved based on the design, material, and the manufacturing process used in the structure. Spot welding as one of the commonly used methods for manufacturing in the automotive industry is interesting to be investigated for improving crashworthiness. This study aims to investigate the spot welds effect on crashworthiness of a thin-walled structure with circular cross-section. As a part of a preliminary study, this research was conducted by making models with several variations in the number of spot welds, which were 2, 4, 8, 12, and 16 points. The models were analyzed using ANSYS Explicit Dynamics to determine the value of energy absorption and crush force efficiency. The speed of impactor used in this simulation was 15.56 m/s referring to New Car Assessment Program (NCAP). The results were then used to determine the influence of spot welds number and the optimal number of spot weld for a thin walled structure with circular cross-section. The simulation results show that the number of spot welds influences the crashworthiness especially in term of crush force efficiency. The optimal value is achieved on the thin-walled structure with 8 spot welds.

Keywords: *Crashworthiness, spot welding, energy absorption, crush force efficiency*

PENDAHULUAN

Kecelakaan kendaraan dapat mengakibatkan kerusakan baik terhadap kendaraan maupun objek lain termasuk manusia yang terlibat di dalamnya. Berdasarkan Komite Nasional Keselamatan Transportasi (2022), diketahui bahwa jumlah kecelakaan di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Seiring meningkatnya kecelakaan tentu korban juga meningkat. Oleh karena itu diperlukan banyak penelitian dalam bidang *crashworthiness* untuk meningkatkan keselamatan penggunaan kendaraan dan juga mengurangi jumlah korban kecelakaan serta kerugian materi.

Struktur berdinding tipis digunakan untuk meringankan beban, namun tetap dapat menyerap energi dalam tabrakan. Selain bentuk dari penyerap energi, tentu material juga penting. Salah satu material yang paling sering digunakan adalah *aluminum alloy* dikarenakan sifatnya yang kuat dan juga ringan sehingga

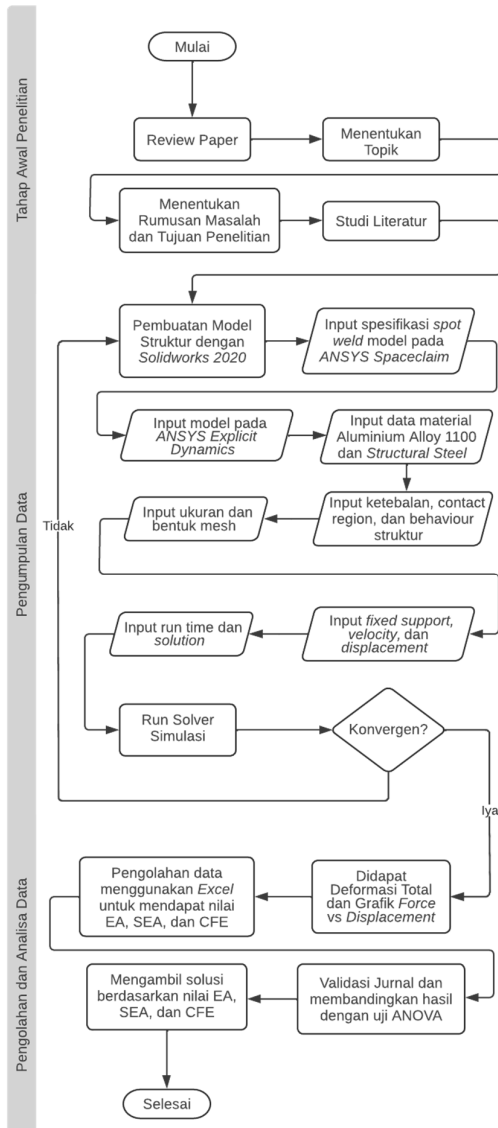
dapat meningkatkan keamanan kendaraan tanpa menambah berat yang signifikan pada kendaraan tersebut (Miller et al, 2000).

Terdapat berbagai jenis bentuk yang dapat digunakan untuk struktur berdinding tipis, seperti kotak, bulat, segitiga, dan masih banyak lagi. Berdasarkan penelitian, diketahui bahwa struktur berpenampang bulat/silinder memiliki nilai penyerapan energi terbesar (Samer et al, 2013).

Dalam pembuatan struktur, waktu produksi tentu sangat berpengaruh. Untuk meningkatkan jumlah produksi dalam waktu yang singkat, struktur dapat dibuat menggunakan plat tipis berbahan *aluminum alloy* yang disambungkan oleh *spot weld*. Keuntungan dari *spot weld* itu sendiri yaitu tidak dibutuhkannya material pengisi dan dapat memproduksi las dalam waktu singkat (Linberg, Sara, 2021). Namun apabila jumlah *spot weld* yang dilakukan tidak optimal maka sambungan lebih mudah lepas dan energi tidak dapat terserap secara maksimal (Peroni et al., 2009). Oleh karena itu dibutuhkan

studi untuk mengetahui berapa jumlah *spot weld* yang optimal untuk penyerapan energi dalam *crashworthiness* struktur berpenampang bulat dengan material *aluminum alloy*.

METODE PENELITIAN

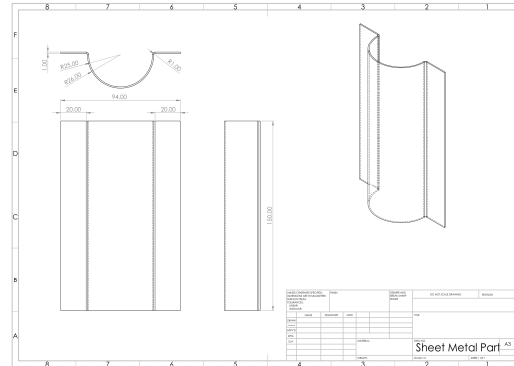


GAMBAR 1. Skema Penelitian

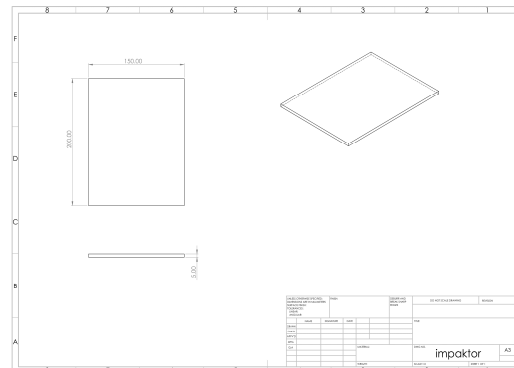
Skema penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1. Pertama – tama dilakukan studi literatur dan perencanaan penelitian, kemudian pembuatan model. Model pipa yang dibuat adalah 2 bagian yang terbuat dari *sheet metal aluminum alloy* dengan tebal 1mm yang disambungkan dengan sejumlah titik *spot weld*. Setelah dilakukan pengecekan maka dilanjutkan pada pemodelan dan *meshing* menggunakan ANSYS *Explicit*

Dynamics. Uji yang dilakukan pada simulasi ini adalah uji *impact* dengan kecepatan 15,56 m/s. Setelah dilakukan beberapa uji dengan beberapa jumlah *spot weld*, akan dilakukan analisis hasil.

Pada pengujian ini dibuat sebuah model yang terdiri dari dua *part* yang dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3. *Part* tersebut terbuat dari *sheet metal aluminum alloy 1100* yang dilakukan proses *bending* dengan sudut 180°.



GAMBAR 2. Part Sheet Metal



GAMBAR 3. Part Impaktor

Sedangkan spesifikasi dari model tersebut dapat dilihat pada tabel 1. *Assembly* struktur dibuat dengan menyatukan *sheet metal part* dan impaktor tanpa adanya *mating*, sehingga dapat dipastikan bahwa *part* tidak menyatu sebelum ditambahkan variasi *spot weld* pada struktur menggunakan ANSYS *Spaceclaim*.

TABEL 1. Spesifikasi Part Sheet Metal

Material	Aluminum Alloy 1100
Dimensi	Diameter Luar : 52mm
	Ketebalan : 1mm
	Panjang : 150mm
Bentuk	Lingkar

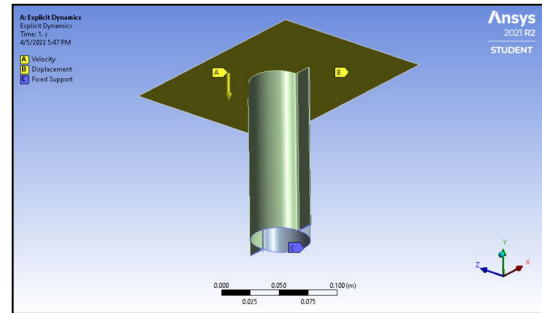
Permodelan *spot weld* dilakukan menggunakan ANSYS *SpaceClaim* dengan desain yang sudah dibuat di *SOLIDWORKS* dan menambahkan pengelasan dengan parameter yang dapat dilihat pada tabel 2.

TABEL 2. Spesifikasi Spot Weld

Jarak awal (mm)	6	6	6	6	6
Jarak pinggir (mm)	10	10	10	10	10
Jarak akhir (mm)	6	6	6	6	6
Jumlah titik (n)	2	4	8	12	16
Jarak antar titik (mm)	138	46	19.71	12.55	9.2

Sebelum dilakukan simulasi lebih lanjut, diperlukan uji untuk mengetahui ukuran *mesh* yang akurat untuk digunakan dalam uji ini. Hal ini dilakukan menggunakan *Grid Convergence Index* (GCI) dengan variasi *mesh* 4, 3.5, 3, 2.5, 2 dan 1.5mm. Kemudian dilakukan simulasi dengan ukuran *mesh* tersebut untuk mendapatkan nilai gaya yang akan digunakan dalam kalkulasi GCI. Berdasarkan perhitungan nilai GCI, didapat nilai paling rendah, yaitu sebesar 1.1%. Berdasarkan waktu komputasi, diketahui bahwa pada *mesh* 1.5mm terdapat peningkatan waktu komputasi lebih dari 2 kali lipat, sehingga dapat disimpulkan bahwa ukuran *mesh* 1.5mm kurang efisien. Oleh karena itu pada simulasi ini akan digunakan *mesh* berukuran 2mm. Pengujian spesimen dilakukan dengan metode uji *impact*. Uji ini dilakukan dengan menabrakkan impaktor dengan kecepatan 15.56 m/s pada spesimen. Nilai yang digunakan sesuai dengan standar pengujian uji oleh *New Car Assessment Program* (NCAP) yaitu 56 km/jam. Uji ini dilakukan dalam bentuk simulasi dengan ANSYS *Explicit Dynamics*.

Impaktor bergerak ke arah y- dengan kecepatan 15.56 m/s dan 0m/s pada arah sumbu x dan z. Parameter *displacement* diletakkan pada impaktor agar benda hanya bergerak ke arah sumbu y. Untuk *fixed support* diletakkan pada bagian bawah struktur berinding tipis. Letak parameter ini dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



GAMBAR 4. Setup Kecepatan, Displacement, dan Fixed Support

Untuk mengetahui tingkat optimal penyerapan energi, terdapat beberapa parameter dari *crashworthiness* seperti *Energy Absorbtion* (EA), *Specific Energy Absorbtion* (SEA), dan *Crush Force Efficiency* (CFE). *Energy Absorbtion* merupakan kemampuan suatu benda untuk menyerap energi dapat dikalkulasi dengan persamaan 1 dibawah ini.

$$EA = \frac{P_{max} \cdot L_{dmax}}{2} \quad (1)$$

Dimana EA, P_{max} , dan L_{dmax} merupakan penyerapan energi, gaya maksimum saat tabrakan, dan defleksi maksimum

Specific Energy Absorbtion merupakan kemampuan suatu objek menyerap energi per satuan massa. SEA dapat dikalkulasi dengan persamaan 2.

$$SE = \frac{EA}{Mass} \quad (2)$$

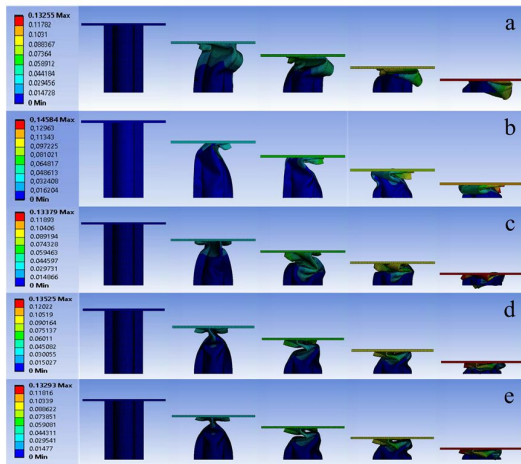
Dimana EA merupakan *Energy Absorbtion* dan dibagi dengan massa objek

Crush Force Efficiency merupakan nilai yang mengukur jumlah gaya yang bergerak melalui objek pelindung. CFE dapat dikalkulasi dengan persamaan 3.

$$CFE = \frac{P_{mean}}{P_{max}} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana P_{max} merupakan gaya maksimum dan P_{mean} merupakan nilai gaya rata-rata yang melewati suatu objek.

HASIL DAN PEMBAHASAN



GAMBAR 5. Perbandingan Deformasi Total Struktur:
a. 2 Titik, b. 4 Titik, c. 8 Titik, d. 12 Titik, dan e. 16 Titik

Deformasi struktur yang terjadi ketika simulasi dengan kecepatan 15.56 m/s merupakan *progressive buckling*. Pada struktur dengan 2 *spot weld* dapat dilihat bahwa titik *spot weld* yang berada pada bagian atas spesimen terlepas pada akhir simulasi *explicit dynamics*. Pada struktur dengan 4 *spot weld* juga terdapat beberapa titik yang terlepas saat deformasi.

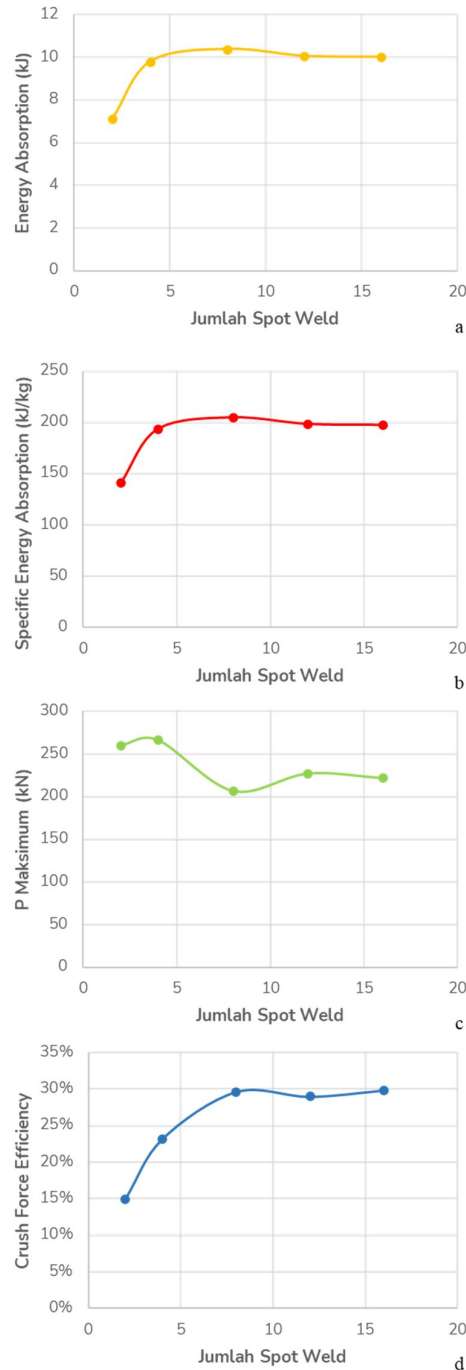
TABEL 3. Hasil Kalkulasi Crashworthiness

Spot Weld	EA (kJ)	SEA (kJ/kg)	CFE	Pmax (kN)	Mass (kg)
2	7.14	140.72	14.98%	260.21	0.05
4	9.83	193.75	23.19%	266.48	0.05
8	10.40	204.87	29.64%	206.64	0.05
12	10.07	198.52	28.99%	227.14	0.05
16	10.03	197.62	29.86%	221.77	0.05

Dapat dilihat pada tabel 3, bahwa semakin banyak titik *spot weld*, semakin besar pula nilai EA dan SEA. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak titik *spot weld* semakin besar pula energi yang dapat diserap oleh struktur tersebut. Namun berdasarkan grafik pada gambar 6, dapat dilihat bahwa terdapat poin dimana grafik EA dan SEA mulai stabil.

Pada gambar 6 dan gambar 7 dapat dilihat grafik P maksimum vs Jumlah *Spot Weld* cenderung menurun. Tujuan utama dari *crashworthiness* merupakan mencari nilai penyerapan energi dan CFE yang tinggi dengan nilai gaya saat tabrakan yang rendah. Berdasarkan grafik tersebut terlihat

bahwa jumlah *spot weld* yang optimal terjadi pada jumlah spot weld 8.



GAMBAR 6. Grafik Parameter Crashworthiness: a. Energy Absorption, b. Specific Energy Absorption, c. P Maksimum, dan d. Crush Force Efficiency

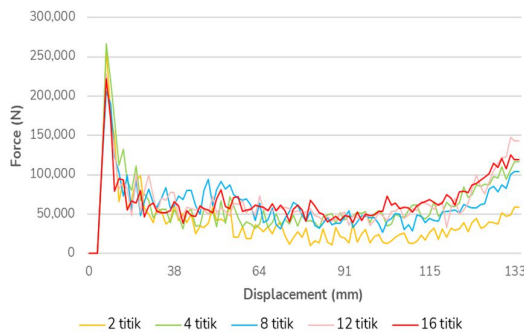
Untuk mengetahui lebih lanjut perbedaan nilai deformasi maksimum pada variasi titik *spot weld* dapat dilihat pada gambar 8, tidak terdapat suatu pola yang stabil diantara nilai deformasi maksimum. Hal ini dikarenakan perbedaan sifat

dan kekuatan sambungan pada sambungan las. Dimana terdapat pelepasan las berdasarkan simulasi pada struktur dengan 2 dan 4 titik.

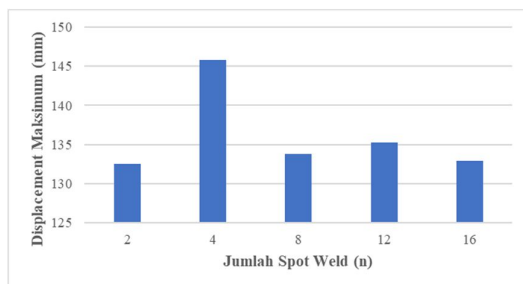
Maka dapat disimpulkan bahwa jumlah titik *spot weld* yang optimal adalah 8 titik. Kesimpulan ini diambil berdasarkan nilai EA, SEA, dan CFE yang tidak berubah secara signifikan pada 12 dan 16 titik, oleh karena itu lebih baik menggunakan 8 titik untuk mengurangi waktu dan biaya manufaktur

Pada penelitian ini, nilai *crashworthiness* kemudian divalidasi dengan hasil penelitian yang telah dilakukan Miguel Costas et al.(2013).

Berdasarkan data dan gambar 9, nilai EA pada struktur cenderung naik seiring dengan bertambahnya jumlah *spot weld* pada struktur. Dapat dilihat pula bahwa pada suatu jumlah *spot weld* terdapat titik dimana pertambahan nilai EA tidak signifikan, sehingga grafik melandai.



GAMBAR 7. Grafik Parameter Crashworthiness: a. Energy Absorption, b. Specific Energy Absorption, c. P Maksimum, dan d. Crush Force Efficiency

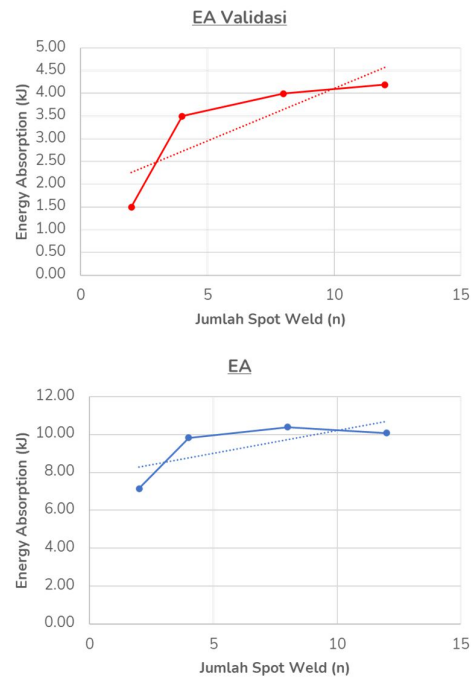


GAMBAR 8. Grafik Force vs Displacement Spesimen

Berdasarkan uji ANOVA didapat nilai f hitung sebesar 2.79 dan f tabel sebesar 5.99. Dimana

berdasarkan teori uji ANOVA, apabila nilai f tabel lebih besar dari f hitung maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan di antara kedua grafik tersebut, sehingga data tersebut valid. Meskipun terdapat perbedaan desain, dapat dilihat suatu kemiripan pada pengaruh EA terhadap jumlah *spot weld*.

Hasil lipatan pada struktur ini juga menunjukkan kemiripan dengan bentuk lipatan pada hasil penelitian yang diperoleh Miguel Costas et al.(2013).



GAMBAR 9. Grafik EA vs Jumlah Spot Weld

KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah penulis lakukan, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Jumlah *spot weld* memiliki pengaruh terhadap bentuk deformasi struktur yang mengalami *progressive buckling*. Dimana struktur dengan 2 dan 4 titik *spot weld* mengalami pelepasan titik sehingga mempengaruhi pula bentuk deformasi yang dihasilkan
2. Berdasarkan nilai EA, SEA, dan CFE, jumlah *spot weld* optimal yang dapat digunakan adalah 8 titik, berdasarkan grafik yang cenderung naik dan melandai pada

jumlah titik las yang tinggi. Berdasarkan nilai gaya maksimum, nilai optimal untuk jumlah *spot weld* adalah 8 titik dimana nilai gaya yang rendah pada saat tabrakan dan grafik yang cenderung stabil pada jumlah titik *spot weld* yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Costas, Miguel & Diaz, Jacobo & Romera, Luis & Hernandez, Santiago & Ledo, Raquel. (2013). Influence of Welded Joints on the Crashworthiness Response of Hybrid Structural Elements. *SAE Technical Papers*. 2. 10.4271/2013-01-0755
- Komite Nasional Keselamatan Transportasi. (2022, 25 Februari). Status Laporan Investigasi Kecelakaan Transportasi dan Monitoring Rekomendasi Keselamatan Transportasi. Dikutip dari <http://knkt.dephub.go.id>
- Linberg, Sara. (2021). Difference Between Spot & Seam Welding. Dikutip dari <https://www.hunker.com/13418772/difference-between-spot-seam-welding>
- Miller, W.S., Zhuang, L., Bottema, J., Wittebrood, A.J., De Smet, Haszler, A., Vieregge, A. (2000). Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, *Materials Science and Engineering: A*, Volume 280, Issue 1, Pages 37-49, ISSN 0921-5093.
- Peroni, L., Avalle, M., & Belingardi, G. (2009, March). Comparison of the energy absorption capability of crash boxes assembled by spot-weld and continuous joining techniques. *International Journal of Impact Engineering*, 36(3), 498–511.
- Qi, Chang, Shu Yang, Fangliang Dong. (2012). Crushing analysis and multiobjective crashworthiness optimization of tapered square tubes under oblique impact loading, *Thin-Walled Structures*, Volume 59, Pages 103-119, ISSN 0263-8231.
- Samer, F., Samaka, H.M., & Khalid, K.S. (2013). Improvement of energy absorption of thin walled hexagonal tube made of magnesium alloy by using trigger mechanisms. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 02, 173-180.

PENULIS:

Jos Istiyanto

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

Email: josist@eng.ui.ac.id

Virsy Pramesti Salsabila

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

Email: virsy.ps01@gmail.com