

Perancangan Desain *Casing Bridge Structural Health Monitoring System* dan Analisis Kekuatan Struktur Menggunakan *Finite Element Method*

1st Dava Rizki Prayoga
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

davarp@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Tatang Mulyana
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

tatangmulyana@telkomuniversity.ac.id

3rd Endang Budiasih
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

endangbudiasih@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Sistem monitoring menggunakan Bridge Structural Health Monitoring System (SHMS), yaitu perangkat kecil yang dipasang di jaringan skala besar untuk melakukan pengideraan, komputasi dan komunikasi. Tujuan SHMS adalah mengidentifikasi umur struktur jembatan, serta memantau pengaruh kondisi lingkungan dan dampak kendaraan berat. SHMS dapat meningkatkan keselamatan publik dan mengurangi biaya pemeliharaan serta operasional. Pembuatan SHMS hanya berfokus terhadap komponen sensor, belum memuat casing untuk melindungi sensor dan belum adanya casing dipasaran. Penggunaan casing dibutuhkan untuk melindungi sensor dari faktor yang mempengaruhi kinerja sensor. Penelitian ini bertujuan untuk merancang desain casing dengan dimensi dan ukuran yang sesuai dengan kebutuhan sensor, pemilihan material dan analisis kekuatan struktur. Pada kajian ini metode analisis yang digunakan adalah Finite Element Analysis (FEA) yaitu sebuah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan dalam mekanika struktur dan fluida. Dalam penerapannya, FEA menggunakan pendekatan elemen hingga untuk memodelkan sistem fisik. FEA terbagi menjadi empat tahap utama yaitu preprocessing, solving, postprocessing, dan validation. Penelitian ini menghasilkan desain casing dengan mempertimbangkan dimensi sensor, material, dan analisis kekuatan struktur menggunakan Finite Element Analysis (FEA). Hasil menunjukkan desain aman dengan tegangan maksimum Von Mises 27.87 MPa yang dimana tidak melebihi yield strength material dan deformasi maksimal sebesar 0.6234 mm dimana nilai tersebut aman dikarenakan tidak merusak bagian sensor. Faktor keamanan casing didapatkan sebesar 2.526 MPa memenuhi batas minimum 1.25 yang dimana termasuk kategori aman. Dari hasil perancangan desain dan kekuatan struktur dilakukan pembuatan prototype untuk verifikasi dan menjamin bahwa aspek desain telah diimplementasikan dengan benar dan siap untuk digunakan.

Kata kunci— Wireless Sensor Network (WSN), Casing, Finite Element Analysis (FEA)

I. PENDAHULUAN

Infrastruktur jembatan memiliki peran penting dalam penghubung antar wilayah di Indonesia. Dimana jembatan menjadi akses pendidikan, pelayanan kesehatan Masyarakat, mendorong pertumbuhan ekonomi dan mempercepat

aktivitas masyarakat di wilayahnya, sehingga harus diperhatikan faktor keamanan bagi penggunanya. Menurut data dari Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menyebutkan bahwa hingga akhir semester II 2023 ada 85,88% atau sekitar 16.530 jembatan di jalan nasional mengalami kerusakan yang bervariasi, sementara hanya 14.11% atau sekitar 2.716 jembatan yang masih dalam kondisi baik.

Pemerintah harus fokus terhadap kondisi Kesehatan struktur jembatan yang ada di beberapa daerah di Indonesia, kerusakan jembatan pada jalan nasional tersebar mulai dari Aceh hingga papua, dimana untuk pulau jawa kerusakan jembatan terparah ada di provinsi Jawa Barat dengan 707 unit rusak ringan, 113 rusak berat dan 5 unit kondisi kritis.

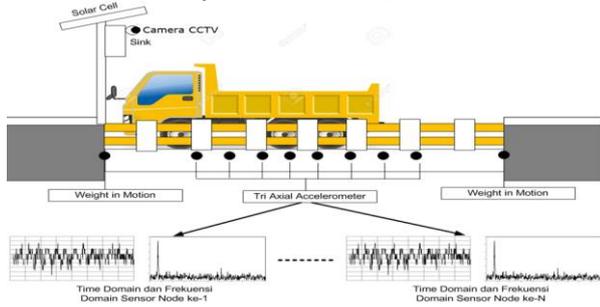


GAMBAR 1
(Kerusakan Jembatan Tahun 2020-2023) [1]

Gambar 2 menunjukkan jumlah kerusakan jembatan di Indonesia dari Tahun 2020-2023 dengan kenaikan disetiap tahunnya, kerusakan jembatan terbanyak terdapat di tahun 2021 dengan total 2938 jembatan rusak. Penyebab utama kerusakan karena beban kendaraan yang melebihi maksimum berat, tidak rutinnya perawatan dan pengawasan terhadap jembatan, bencana alam yang mengakibatkan kerusakan pada jembatan, dan belum adanya pengaplikasian teknologi pengawasan yang canggih.

Dari data grafik pada Gambar 2 maka diperlukan pengawasan dan penilaian terhadap sistem infrastruktur pada jembatan yang ada di Indonesia. Sistem monitoring kesehatan jembatan diperlukan untuk mengetahui kemungkinan penyimpangan perilaku dan umur pada

jembatan dari sistem monitoring juga dapat dilakukan penanganan dengan cepat dan tepat dalam mengatasi dan mengurangi permasalahan yang ada pada suatu jembatan. Sistem monitoring *Bridge Structural Health Monitoring System* (SHMS) dapat dilakukan dengan memanfaatkan IoT berupa penggunaan *Wireless Sensor Network* (WSN) yaitu perangkat embedded kecil yang dipasang di jaringan skala besar untuk melakukan penginderaan, komputasi, dan komunikasi. Tujuan dari SHMS adalah untuk mengidentifikasi umur struktur jembatan, memantau pengaruh kondisi lingkungan, dan dampak kendaraan berat yang melintas. Dengan demikian, SHMS dapat meningkatkan keselamatan publik dan mengurangi biaya pemeliharaan serta operasional. [1] [2]



GAMBAR 2 (Solusi Integrasi Monitoring Shms)

Dari Gambar 3 merupakan sistem terintegrasi pengawasan jembatan dimana sensor akan beradaptasi menangkap getaran dengan efisien, sedangkan *weight in motion*, *Base Station* dan kamera digunakan untuk melakukan pendeteksi, *tracking* dan mengelompokkan objek kendaraan yang melintasi jembatan. Selain itu juga melalui jaringan dan sensor, didapat respon dinamik data-data frekuensi tinggi dari perilaku jembatan sehingga mempermudah evaluasi analisis struktur jembatan dan mendukung program pemeliharaan dan inspeksi *periodic*. Dalam kondisi pemantauan kesehatan jembatan saat ini yang masih menggunakan pengolahan data secara manual, SHMS menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemeliharaan infrastruktur jembatan. [2]

Dalam merealisasikan Sistem monitoring *Bridge Structural Health Monitoring System* (SHMS) dibutuhkan penggunaan *casing* untuk melindungi sensor dari kendaraan yang melewatinya sehingga kuat untuk menampung beban dan melindungi dari faktor lingkungan yang mempengaruhi kinerja sensor. Selain itu material yang digunakan harus memiliki kekuatan yang baik dan tidak menjadi penghambat sinyal pada sensor. Oleh karena itu dilakukan pemilihan material dan untuk menentukan material yang baik dilakukan analisis material dengan mempertimbangkan ketahanan, ketangguhan dan relatif mudah di proses pada permesinan. Analisis kekuatan struktur dilakukan dengan metode *Finite Element Method* untuk mengetahui deformasi, tegangan maksimum dan *safety factor*.

II. KAJIAN TEORI

A. Spesifikasi Sensor SHMS

Dalam menentukan ukuran desain *casing* SHMS diperlukan referensi ukuran dan spesifikasi dari sensor yang akan digunakan dalam pemantauan kesehatan pada jembatan.

1. P-Nucleo-WB55

No	Spesifikasi	Information
1	Ukuran dongle	50.53 mm x26.979 mm
2	Transceiver Supporting	Bluetooth 2.4GHz RF dan IEEE 802.155.4-2011 PHY
3	Processor	Dual-core 32-bit
4	Antenna	Integrated PCB antenna / U. FL connector.

GAMBAR 3 (Spesifikasi Dongle Nucleo)

No	Spesifikasi	Information
1	Ukuran board	70 mm x 64.476 mm
2	Transceiver Supporting	Bluetooth 2.4GHz dan IEEE 802.15.4-2011 PHY
3	Processor	Dual-core 32-bit
4	Board Connectors	Micro-B USB user, Arduino Uno, dan ST morpho expansion connector
5	Battery socket	On Board CR2032

GAMBAR 4 (Spesifikasi Board Nucleo)

a. Skema Node Sensor

Pada tugas akhir ini menggunakan sensor SW-420 yang digunakan pada *Node LoRa* menghubungkan *Arduino UNO* berbasis teknologi *Low Power Wide Area Network* (LP-WAN) yang menggunakan radio frekuensi sebagai media pengiriman data.

b. LoRaWAN

LoRa (Long Range) adalah suatu format modulasi yang memiliki daya yang sangat rendah. Dengan mengkombinasikan LoRa RF transceiver dengan LoRa gateway concentrator dapat membuat sebuah jaringan dengan range yang besar untuk mengontrol jutaan device.

B. Spesifikasi Komponen Referensi

Road stud adalah marka jalan berupa paku yang dipasang pada permukaan jalan yang dilengkapi oleh pemantul cahaya berfungsi sebagai penanda yang akan memantulkan cahaya dari reflector jika kondisi jalan kurang penerangan. [3]

Kecepatan Rencana	Panjang Sisi (milimeter)	Lebar (milimeter)	Tebal (milimeter)
<60 kilometer per jam	100 - 120	100 - 120	20
≥60 kilometer per jam	100 - 120	150	20

GAMBAR 5 (Spesifikasi Ukuran Road Stud)

C. Spesifikasi Baterai

Baterai litium ion (Li-Ion) merupakan baterai yang memiliki struktur elektroda positif (katoda) dari bahan litium ion, elektroda negatif (anoda) dari karbon seperti *graphite*,

dan elektrolit dari bahan garam litium seperti *lithium hexafluorophosphate*, *lithium hexafluoroarsenate monohydrate*, *lithium perchlorate*, *lithium tetrafluoroborate*, *lithium triflate*. Berikut merupakan tabel Spesifikasi baterai litium-ion.

Tabel 1

No	Item	Specification
1	Nominal Capacity	2600 mAh
2	Charging Voltage	4,2 ±0,05 V
3	Nominal Voltage	3,7 V
4	Charging Current	Standard: 1300mA; Rapid: 2600mA
5	Charging Time	Standard: 3 hours; Rapid: 2,5 hours
6	Max. Charge Current	2600 mA
7	Max. Discharge Current	5200 mA
8	Discharge Cut-off Voltage	2,75 V
9	Cell Weight	47gram max
10	Cell Dimension	Diameter: 18,4 mm; Height: 65 mm
11	Operating Temperature	Charge: 0 to 45 °C Discharge: -20 to 60 °C

GAMBAR 6
(Spesifikasi Baterai)

D. Spesifikasi Solar Panel

Solar panel didefinisikan sebagai perangkat teknologi yang menggunakan sel surya untuk mengubah energi cahaya matahari langsung menjadi energi listrik secara fotolistrik. Berikut merupakan tabel spesifikasi solar panel.

No	Item	Spesifikasi
1	Dimensi	68 x 36mm
2	Daya (Power)	5 V / 0.3Watt
3	Arus	60 mA
4	Material	Photovoltaic + Polycrystalline & lapisan Kaca

GAMBAR 7
(Spesifikasi Solar Panel)

E. Sistematis Desain

Kebutuhan desain merupakan hal terpenting dalam menentukan desain secara tepat. Kebutuhan ini berdasarkan dari kebutuhan pasar akan produk tersebut. Gambar II.5 merupakan proses perancangan desain [4]:



GAMBAR 8
(Sistematis Desain)

F. Finite Element Analysis (FEA)

FEA menyelesaikan teknik dengan membagi objek analisis menjadi bagian yang lebih kecil. *Finite Element Analysis* (FEA) memiliki banyak keuntungan, salah satunya adalah kemampuannya untuk memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang kinerja produk dan struktur sebelum proses produksi yang sebenarnya [5].

G. Von Mises Stress

Tegangan von mises adalah tegangan yang menyebabkan kegagalan pada material yang mengalami tegangan triaksial,

menghasilkan energi regangan dari pembebanan yang mendekati titik luluhnya.

Rumus von Mises stress adalah seperti di bawah ini

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

Selain rumus di atas untuk menghitung Von mises dapat juga menggunakan rumus tegangan normal jika yang hanya diketahui gaya aksial (σ_x) dan luas penampang yang akan diberikan beban. Dengan nilai $\sigma_y=0$, $\sigma_z=0$ maka tegangan Von mises sama dengan tegangan normal [6].

$$\sigma_v = \sigma_x$$

Di mana:

σ_v = Tegangan Von Mises

σ_x = Tegangan Normal

Berikut merupakan rumus tegangan normal (σ):

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Di mana:

σ = Tegangan normal (Pa)

F = Gaya atau beban (N)

A = Luas Penampang (m^2)

H. Deformasi

Deformasi adalah perubahan dimensi material sebagai respons terhadap gaya mekanis. Jika material kembali ke ukuran dan bentuk semula setelah beban yang diterapkan dihilangkan, deformasi ini disebut elastis. Sebaliknya, deformasi plastis terjadi ketika beban mekanis menyebabkan perubahan dimensi material yang permanen, sehingga material tidak dapat kembali ke ukuran dan bentuk semula meskipun beban tersebut dihilangkan.

Kriteria ini mengatakan bahwa material akan mulai mengalami deformasi plastis jika tegangan Von Mises melebihi tegangan luluh material.

1. Jika $\sigma_v > \sigma_{Yield}$ material, maka material akan mengalami deformasi plastis.
2. Jika $\sigma_v \leq \sigma_{Yield}$ material, maka material tidak akan mengalami deformasi plastis dan akan tetap dalam kondisi elastis.

I. Safety Factor

Safety factor adalah faktor yang menunjukkan kemampuan suatu bahan teknik untuk menahan beban dari luar, seperti beban tekan dan tarik tanpa mengalami kegagalan. Tegangan maksimum dengan mempertimbangkan ketahanan *yield strength* material. Berikut merupakan standar angka keamanan menurut [7]

Berdasarkan jenis pembebanannya, standar nilai safety factor

1. Beban statis = 1,25 – 2
2. Beban dinamis = 2 – 3
3. Beban kejut = 3 - 5

No	Faktor Keamanan	Deskripsi
1	Safety factor = 1,25 – 1,5	Untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi dan beban tegangan yang bekerja dapat ditentukan dengan pasti.
2	Safety factor = 1,5 – 2	Untuk perancangan struktur yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat beban yang dapat ditentukan dengan mudah dan tegangan yang tetap.
3	Safety factor = 2 – 2,5	Untuk perancangan yang beroperasi pada lingkungan biasa dan beban serta tegangan yang dapat ditentukan.
4	Safety factor = 2,5 – 4	Untuk bahan getas dibawah kondisi lingkungan beban dan tegangan.
5	Safety factor = 3 – 4	Untuk bahan yang belum diuji yang digunakan pada kondisi lingkungan beban dan tegangan yang sudah diketahui dan tidak pasti.

GAMBAR 9
(Standar Nilai Safety Factor)

Berdasarkan jenis pembebanannya, standar nilai safety factor

1. Beban statis = 1,25 – 2
2. Beban dinamis = 2 – 3
3. Beban kejut = 3 – 5

J. Material Polymer Polycarbonate

Material *Polycarbonate* merupakan salah satu jenis polimer yang memiliki kelebihan seperti warna yang jernih dan tembus pandang, bahan sintesis, impact strength yang baik, tahan terhadap panas, air, asam dan isolator yang baik.

Sifat-sifat	Metrik
Density	0.962-1.48 g/cc
Tensile Strength, Yield	48.8-124 MPa
Tensile Strength, Ultimate	27.0-131 MPa
Modulus Elastisitas	2.41-13.0 GPa
Modulus Kelenturan	2.20-10.3 GPa

GAMBAR 10
(Karakteristik Polycarbonate)

K. Material Polyamide Nylon

Polyamide merupakan generic untuk keluarga polimer sintetik yang biasanya disebut poliamida atau nylon terdiri dari heksametilen diamina dan asam adipat melalui polimerisasi kondensasi keluarga ini disebut polyamide. Tabel II.12 merupakan karakteristik Nylon.

Sifat- sifat	Metrik
Density	1.11 - 1.17 g/cc
Tensile Strength, Yield	40.0 - 100 MPa
Tensile Strength, Ultimate	50.0 - 90.0 MPa
Modulus Elastisitas	1.30 - 4.20 GPa
Modulus Kelenturan	1.30 - 3.70 GPa

GAMBAR 11
(Karakteristik Polycarbonate)

III. METODE

Pada penelitian ini digunakan metode *Finite Element Method* yang dapat membantu untuk memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang kinerja produk dan struktur sebelum proses produksi yang sebenarnya. *Finite Element* pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur yang diperlukan dalam pembuatan casing. Metode ini yang nantinya akan menentukan apakah desain usulan layak untuk melindungi sensor atau tidak. Sebelum dilakukan analisis menggunakan *Finite Element*, dalam penelitian ini menggunakan bantuan *software* Autodesk Nastran 2024 untuk menganalisis kekuatan struktur.

Adapun tahapan dalam proses perancangan konsep desain, yaitu meliputi desain konseptual, desain wujud, dan detail desain, dimana semuanya berkontribusi dalam pembentukan konsep perancangan yang dibutuhkan. Dari proses ini, spesifikasi desain yang diinginkan dapat ditentukan, termasuk spesifikasi casing referensi roadstud yang berbentuk persegi atau bulat sebagai gambaran dalam perancangan casing usulan. Selanjutnya, komponen sensor yang digunakan adalah sensor board, yang telah dijelaskan pada spesifikasi sensor, memberikan acuan untuk menentukan dimensi rancangan casing SHMS. Material yang dipilih untuk casing adalah Nylon dan *Polycarbonate*, karena material ini menawarkan ketahanan yang baik terhadap benturan serta stabilitas dimensi dan ketangguhan yang tinggi, sehingga mampu melindungi sensor dengan efektif.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Perancangan

A. Desain 2D Casing SHMS

1. Protective Upper Base

Pada gambar teknik part *Protective Upper Base* menggunakan skala 1:1 dengan satuan milimeter. Pandangan atas menampilkan dimensi seperti lubang dengan diameter 8 dan berbagai ukuran dan jarak, pada pandangan samping bisa diketahui dimensi panjang part 150 mm dan tinggi 10 mm dan pandangan isometric memberikan visualisasi tiga dimensi pandangan ini membantu dalam memahami bentuk keseluruhan dari komponen casing.

2. Upper Base Circuit

Berdasarkan Gambar 13 terdapat beberapa dimensi pada part *Upper Base Circuit*, seperti panjang 150 mm, lebar 98 mm, dan tinggi 50 mm. pada pandangan samping menunjukkan detail posisi lubang dengan diameter 21 mm serta beberapa dimensi lainnya yang mengindikasikan ukuran dan jarak antar fitur pada casing.

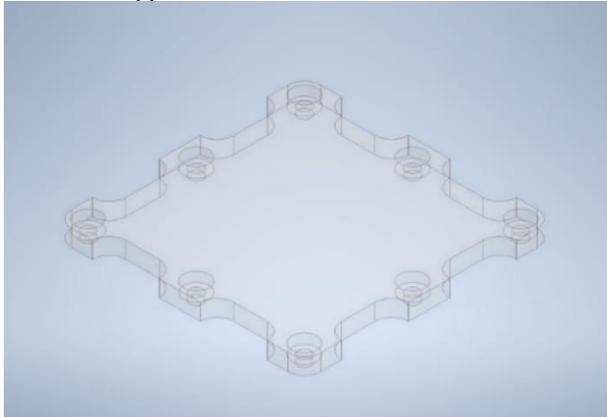
3. Base Station

Pada Gambar 14 merupakan representative dari gambar teknik part *Base Station*. Gambar 2 dimensi ini menunjukkan

berbagai dimensi penting, termasuk panjang keseluruhan 150 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 90 mm. Pada bagian pandangan atas dan samping, terlihat detail lubang berulir dengan ukuran M6 x 1.25, yang didesain untuk pemasangan komponen lainnya.

B. Desain 3D *Casing* SHMS

1. Protective Upper Base



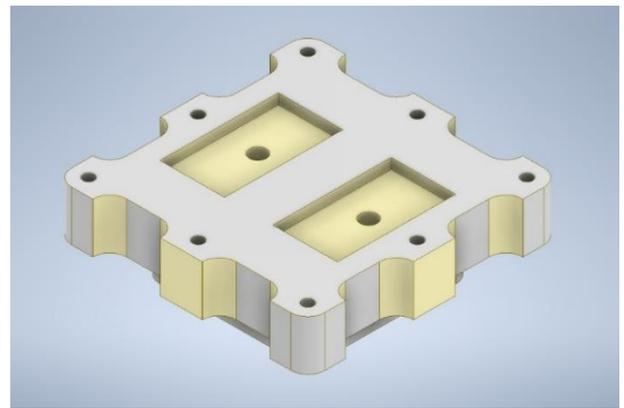
GAMBAR 12
(3d *Protective Upper Base*)

Sebagai pelindung utama modul *Upper Base Circuit*, *Protective Upper Base*, *Base Station*. dirancang untuk menyerap dan mendistribusikan gaya eksternal, seperti benturan atau tekanan, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada sirkuit internal. Dengan distribusi gaya yang lebih baik, modul sensor memiliki peluang lebih besar untuk tetap berfungsi optimal dan memiliki umur pakai yang lebih Panjang. Pemilihan material untuk *Protective Upper Base* juga menjadi faktor penting. Material yang digunakan harus memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan dan ketahanan terhadap benturan dan keuletan.

2. Upper Base Circuit

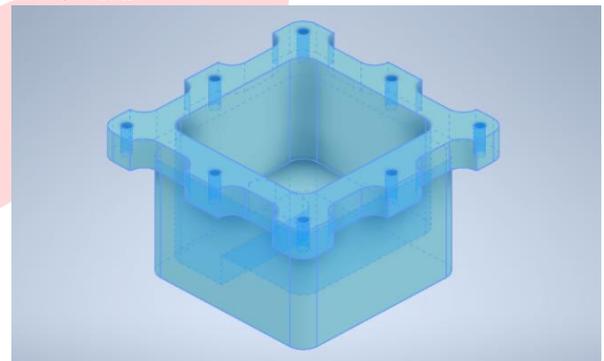
Gambar 20 merupakan bagian dari atas *Upper Base Circuit*. Memiliki desain yang kompleks dan mendukung integritas struktural perangkat. Area ini dirancang secara teliti agar memastikan setiap komponen berfungsi normal tanpa ada gangguan. Lubang kabel berbentuk lingkaran dengan kedalaman yang telah disesuaikan untuk memudahkan manajemen kabel dan memudahkan proses perakitan dan pemasangan kabel.

Desain bertingkat pada area peletakan panel surya sangat penting untuk menyesuaikan Panjang dan fleksibilitas kabel, memungkinkan proses instalasi menjadi lebih lancar dan adaptif. Desain dengan permukaan atas yang rata pada *Upper Base Circuit* digunakan untuk mengurangi risiko celah yang dapat menyebabkan kebocoran, sehingga meningkatkan keandalan. Delapan lubang ulir yang strategis ditempatkan untuk memudahkan penghubungan komponen berikutnya, menekankan peran modul ini sebagai elemen dasar pada rangkaian.



GAMBAR 13
(3d *Upper Base Circuit*)

3. Base Station

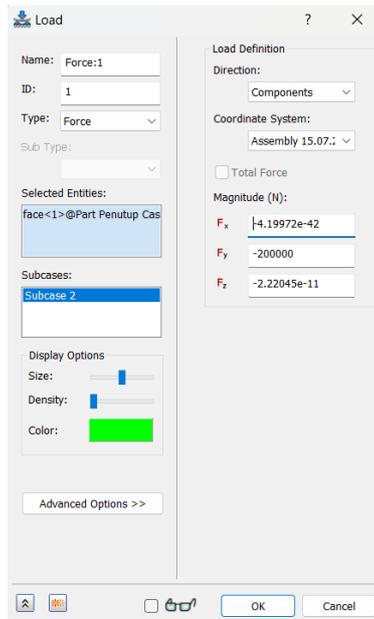


GAMBAR 14
(3d *Base Station*)

Desain *Base Station* difungsikan untuk tempat penyimpanan sensor secara fisik, tetapi juga berperan sebagai pusat pengelolaan dan pemrosesan data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor tersebut. *Base Station* ini dilengkapi dengan berbagai fitur yang memungkinkan integrasi yang mudah dan efisien dengan jaringan komunikasi yang ada. Ini termasuk kemampuan untuk mengumpulkan data secara *real-time*, menyimpannya dalam basis data yang terorganisir dengan baik, dan mengirimkan informasi penting ke sistem pusat untuk analisis lebih lanjut. Selain itu, *Base Station* dilengkapi dengan tempat penyimpanan sumber daya listrik yang berada di bagian bawah base.

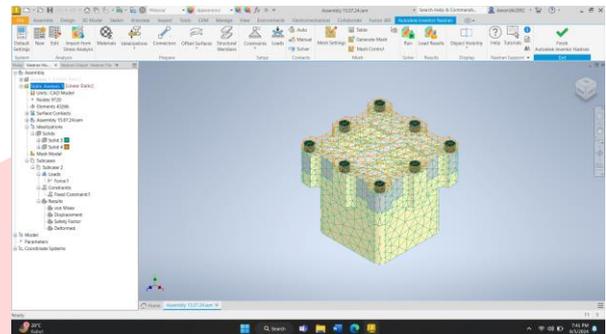
C. Identifikasi Beban

Pada uji simulasi yang akan dilakukan identifikasi beban dilakukan dengan pembebanan statis. Beban yang akan diberikan pada *casing* merupakan beban rata-rata maksimal dari kendaraan truk yang melewati jembatan. Berdasarkan batas berat kendaraan yang dapat melewati jembatan perkiraan rata-rata beban truk berkisar 200.000 N atau setara dengan 20 Ton. Berikut merupakan *Magnitude* arah beban dalam satuan *Newton*.



GAMBAR 15 (Identifikasi Beban Dan Arah Beban)

digunakan untuk simulasi casing SHMS adalah *Linier Static* dan dianalisis dengan mengubah struktur utama menjadi elemen yang memiliki ukuran kecil. Pada simulasi ini, casing akan diubah menjadi 9.720 nodes dan 43.266 elements. Pada pengaturan *meshing* element order yang digunakan yaitu *linier* dengan *standar density* pada kategori *fine*. Setelah melakukan penentuan *Constraints*, Pembebanan, dan *Meshing* akan dilakukan pengujian simulasi untuk menentukan hasil nilai *Von Mises*, *Deformasi*, dan *Safety factor*.



GAMBAR 17 (Persiapan Simulasi)

D. Identifikasi Material

Material(s)

Name	Nylon 6	
General	Mass Density	1.12 g/cm ³
	Yield Strength	70.4 MPa
	Ultimate Tensile Strength	75.7 MPa
Stress	Young's Modulus	2.75805 GPa
	Poisson's Ratio	0.35 ul
	Shear Modulus	1.0215 GPa
Part Name(s)	Baut Casing.ipt Part Base Casing 2 .ipt Part Penutup Casing Revisi 2.ipt	
Name	Polycarbonate, Clear	
General	Mass Density	1.2 g/cm ³
	Yield Strength	62.01 MPa
	Ultimate Tensile Strength	68.9 MPa
Stress	Young's Modulus	2.275 GPa
	Poisson's Ratio	0.38 ul
	Shear Modulus	0.824275 GPa
Part Name(s)	Part Penutup Casing atas Bening 2.ipt	

GAMBAR 16 (Karakteristik Material)

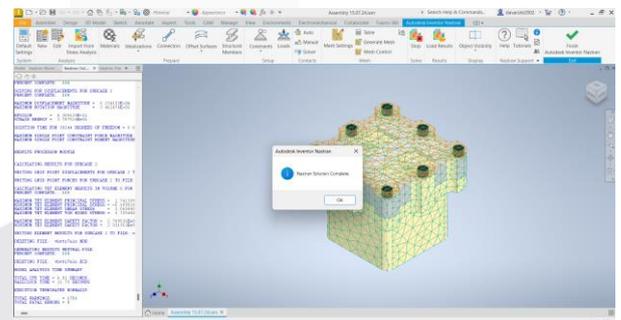
Pada uji simulasi yang akan dilakukan material yang digunakan adalah *Nylon* dan *Polycarbonate*. Material tersebut dipilih karena memiliki ketahanan yang baik, ketahanan benturan dan dimensi yang stabil serta ketangguhan yang baik. Sehingga mampu melindungi sensor dengan baik dan tidak berpengaruh terhadap kerja sensor.

E. Pengujian Simulasi

Pada desain ini, *fixed constraints* diterapkan pada bagian part *Base Station* dan *Upper Base Circuit*. Beban yang diberikan pada desain casing adalah beban yang akan diterapkan pada kenyataan nyata. Letak pembebanan berada pada bagian atas part *Protective Upper Base*. Pembebanan terhadap casing dibuat sebesar 200.000 Newton.

Langkah selanjutnya setelah menentukan *constraint* dan pembebanan adalah proses *meshing*, di mana mesh yang

Pada Gambar 20 merupakan tampilan setelah melakukan persiapan sebelum pengujian simulasi. Setelah persiapan pengujian simulasi sudah ditentukan selanjutnya running pengujian simulasi. Pada Gambar 25 merupakan tampilan Nastran Output yang akan muncul dan merupakan tampilan simulasi yang sudah berhasil. Setelah itu akan tampil dashboard Nastran Model Tree didalam dashboard tersebut terdapat hasil analisis simulasi dari FEA casing.

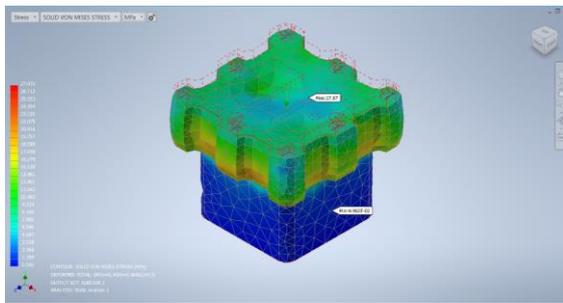


GAMBAR 18

F. Hasil Simulasi FEA

Setelah proses running, maka didapat hasil-hasil dari simulasi tersebut stress analysis dilakukan dengan memberikan beban pada arah sumbu Y minus yang akan menerima beban sebesar 200.000 Newton. Hasil analisis kekuatan casing berupa nilai *Von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*. Berikut merupakan hasil simulasi rancangan casing SHMS

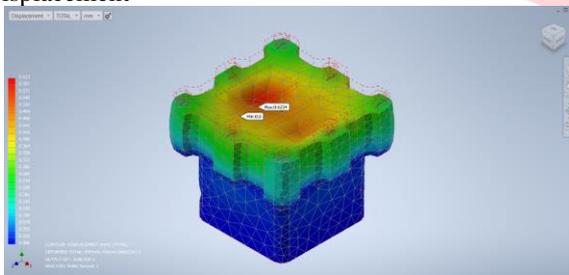
1. Von Mises stress



GAMBAR 19
(Hasil Simulasi Von Mises)

Berdasarkan dari hasil simulasi dihasilkan tegangan minimum *von Mises* ditunjukkan dengan bagian berwarna biru sebesar 0.049 Mpa, sedangkan hasil tegangan maksimum ditunjukkan dengan bagian berwarna merah sebesar 27.87 Mpa. Sedangkan besar *yield strength* pada material Nylon adalah 70.4 Mpa. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa tegangan maksimum tidak melebihi tegangan *yield strength* material sehingga desain *casing* dalam kategori aman.

2. Displacement

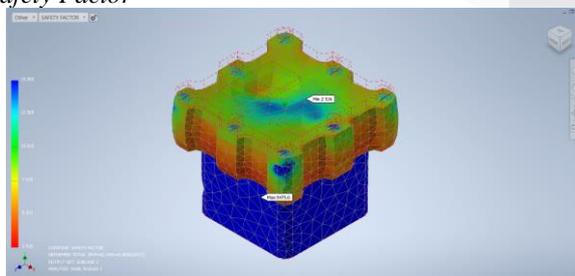


GAMBAR 20
(Hasil Simulasi Displacement)

Berdasarkan hasil simulasi, displacement minimum pada *casing* SHMS ditunjukkan dengan bagian berwarna biru sebesar 0 mm (tidak mengalami deformasi), sementara displacement maksimum ditunjukkan dengan bagian berwarna merah sebesar 0.6234 mm. Simulasi *casing* masih dikategori aman dikarenakan nilai displacement maksimum dibawah 1 mm, sehingga tidak mengenai atau merusak komponen sensor.

Casing SHMS mengalami deformasi yaitu perubahan bentuk dari suatu objek karena diberikan beban yang dilakukan dalam simulasi seperti Gambar 23 dengan total deformasi maksimum yang terjadi sebesar 0.6234 mm yang terdapat pada bagian *Protective Upper Base*.

3. Safety Factor



GAMBAR 21
(Hasil Simulasi Safety Factor)

Berdasarkan hasil simulasi, *safety factor* yang dihasilkan sebesar 2.526. Hasil *safety factor* minimum terdapat pada bagian atas *casing* yang ditunjukkan dengan warna oranye

sebesar 2.526. nilai *safety factor* yang diperoleh bisa dibandingkan dengan *yield strength* dari material dan dapat disimpulkan bahwa *safety factor* minimum *casing* lebih dari 2 dalam kategori aman. Berdasarkan perhitungan *safety factor* dari pembagian *yield* kekuatan material dan *working stress* didapatkan nilai yang sama dengan yang disimulasikan.

Hasil Rancangan

A. Rancangan CAM

4. CAM *Protective Upper Base*

Pada tahap perancangan CAM *Protective Upper Base*, terdapat 2 setups pengerjaan yaitu setup *drill* dan setup *contour*. Setups sendiri berfungsi untuk menentukan *Work Coordinatae System* sehingga alat potong sesuai dengan desain yang diinginkan dan konfigurasi parameter permesinan seperti kecepatan potong, laju pemakanan, dan menentukan *toolpath*. Dalam perancangan CAM juga harus menentukan *clamping* selama proses permesinan. *clamping* berfungsi untuk mencegah pergeseran benda kerja selama proses permesinan berlangsung. Berikut merupakan tabel setup *drill* dan *contour*.

TABEL 1

No	Proses	Tools
1	Drill (Rapid out)	1/8" center drill
2	Drill (Deep drilling)	10 mm drill
3	Drill (Deep drilling)	11.8 mm drill
4	Drill (Reaming)	12 mm drill
5	Drill (Rapid out)	1/8" center drill
6	Drill (Deep drilling)	8 mm drill

TABEL 2

No	Proses	Tools
1	Drill (Deep drilling)	16 mm flat endmill
2	2D Contour	10 m flat endmill

5. CAM *Upper Base Circuit*

Pada tahap ini ada tiga setup pengerjaan, yaitu setup drill, setup atas, dan setup bawah pada tahap perancangan CAM *Upper Base Circuit*. Pada setup atas dilakukan 2D pocket untuk membentuk bagian dudukan solar panel, 2D contour untuk membentuk sekeliling desain dan drill untuk melubangi area lubang baut. Sedangkan pada setup bawah dilakukan 2D contour untuk membentuk penutup bawah. Perancangan CAM juga memerlukan penentuan *clamping* yang dilakukan menggunakan setup drill. Ini dilakukan untuk mencegah benda kerja bergerak selama proses permesinan. Tabel berikut menunjukkan konfigurasi drill, contour, trace, dan pocket.

TABEL 3

No	Proses	Tools
1	Drill (Rapid out)	1/8" center drill
2	Drill (Deep drilling)	10 mm drill
3	Drill (Deep drilling)	11.8 mm drill
4	Drill (Reaming)	12 mm drill

TABEL 4

No	Proses	Tools
1	2D Pocket	12 mm flat endmill
2	2D Contour	20 mm flat endmill

3	Drill (Rapid out)	1/8" center drill
4	Drill (Deep drilling)	8 mm drill
5	Trace	12 mm flat endmill

TABEL 5

No	Proses	Tools
1	2D Contour	20 mm flat endmill

6. CAM Base Station

Pada tahap ini, ada empat setup pengerjaan, yaitu drill atas, setup atas, setup bawah, drill bawah. Setup drill atas membentuk bagian *clamping* untuk menyangga material yang sedang di proses menggunakan proses *drilling*. Setup atas membentuk bagian atas dari part *Base Station* menggunakan 2D pocket, 2D contour, drill, dan trace. Setup bawah membentuk bagian bawah part dengan menggunakan 2D contour. Setup drill bawah membuat *clamping* untuk proses pengerjaan bawah.

TABEL 6

No	Proses	Tools
1	Drill (Rapid out)	1/8" center drill
2	Drill (Deep drilling)	11.8 mm drill
3	Drill (Reaming)	12 mm drill
4	Drill (Deep drilling)	10 mm drill
5	Drill (Deep drilling)	16 mm flat endmill

TABEL 7

No	Proses	Tools
1	2D Pocket	20 mm flat endmill
2	2D Pocket	20 mm flat endmill
3	Drill (Rapid out)	1/8" center drill
4	Drill (Deep drilling)	6.5 mm drill
5	Drill (Tap)	8 x 1.25 mm right tap
6	2D Contour	20 mm flat endmill
7	Trace	12 mm flat endmill

TABEL 8

No	Proses	Tools
1	2D Contour	20 mm flat endmill

TABEL 9

No	Proses	Tools
1	Drill (Deep drilling)	16 mm flat endmill

B. Permesinan CNC

1. Prototype Part Protective Upper Base

Dalam pembuatan *Prototype part Protective Upper Base*, material yang digunakan yaitu Akrilik sebagai pengganti material awal *Polycarbonate* dikarenakan keterbatasan anggaran dan material yang sulit dibeli dalam jumlah satuan. Pada proses permesinan untuk membuat part ini dilakukan selama 9 menit dan material yang digunakan sebesar 300mm x 300 mm x 10 mm, setelah melalui permesinan ukuran *Prototype* menjadi 150 mm x 150 mm x 10 mm. Pada Gambar IV.29 merupakan proses permesinan part *Protective Upper Base*.



GAMBAR 22

(Proses Permesinan Cnc Protective Upper Base)

2. Prototype Part Upper Base Circuit

Dalam pembuatan *Prototype part Upper Base Circuit*, proses permesinan untuk membuat part ini dilakukan selama 41 menit dan material yang digunakan adalah *Nylon* dengan penggunaan pada proses permesinan sebesar 300 mm x 300 mm x 50 mm dan setelah menjadi melalui proses permesinan ukurannya menjadi 150 mm x 150 mm x 50 mm. Berikut merupakan proses permesinan CNC *Prototype part Upper Base Circuit*.



GAMBAR 23

(Proses Permesinan Cnc Protective Upper Base)

3. Prototype Part Base Station

Untuk membuat *Prototype bagian Base Station*, material yang digunakan adalah *Nylon*. Ukuran material adalah 300 mm x 300 mm x 100 mm, dan kemudian diubah menjadi 150 mm x 150 mm x 100 mm. Proses permesinan CNC digunakan untuk membuat *Prototype bagian Base Station* ini.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan desain *casing* didapatkan hasil rancangan dengan spesifikasi panjang 150 mm, lebar 150 mm, dan tinggi 160 mm. Desain *casing* ini dapat digunakan untuk melindungi sensor yang akan diintegrasikan pada monitoring jembatan.

Berdasarkan hasil pemilihan material dipilih material *Nylon* dan *Polycarbonate* karena memiliki ketahanan yang baik, ketahanan benturan dan dimensi yang stabil serta ketangguhan yang baik. Sehingga mampu melindungi sensor dengan baik dan tidak berpengaruh terhadap kerja sensor. Hasil analisis kekuatan struktur didapatkan nilai tegangan maksimum Von Mises sebesar 27.87 Mpa, yang dimana nilai tegangan maksimum tidak melebihi tegangan *yield strength* sehingga desain dalam kategori aman. Nilai *displacement* minimum didapatkan nilai sebesar 0 mm sehingga tidak mengalami deformasi dan nilai maksimum sebesar 0.6234

mm yang dimana nilai tersebut aman dikarenakan deformasi tidak merusak bagian sensor. Selain itu juga faktor keamanan *casing* didapatkan nilai sebesar 2.526 Mpa, yang dimana nilai simulasi tersebut sama dengan perhitungan manual dan lebih dari nilai standard safety factor yaitu 2 (dua).

Berdasarkan hasil rancangan desain, pemilihan material dan kekuatan struktur dilakukan pembuatan *Prototype* yang dimana dalam pembuatannya dilakukan dengan proses permesinan CNC. Proses permesinan memerlukan nc code yang dimana dilakukan perancangan CAM. Pembuatan *Prototype* dilakukan untuk memastikan rancangan desain dan ukuran sudah sesuai dengan perancangan.

REFERENSI

- [1] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Jumlah Kemantapan Jembatan Nasional," 2024. [Online]. Available: <https://data.pu.go.id/dataset/jumlah-kemantapan-jembatan-nasional>.
- [2] A. Adnan, "Bridge Structural Health Monitoring System (SHMS) Berbasis IoT untuk Memperpanjang Umur Struktur Jembatan," 2023. [Online]. Available: [https://telkomuniversity.ac.id/en/bridge-structural-](https://telkomuniversity.ac.id/en/bridge-structural-health-monitoring-system-shms-berbasis-iot-untuk-memperpanjang-umur-struktur-jembatan/)
- [health-monitoring-system-shms-berbasis-iot-untuk-memperpanjang-umur-struktur-jembatan/](https://telkomuniversity.ac.id/en/bridge-structural-health-monitoring-system-shms-berbasis-iot-untuk-memperpanjang-umur-struktur-jembatan/).
- [3] Kementerian Perhubungan Darat, "Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Darat Nomor KP.106/AJ.501/DRJD/2019 Tentang Petunjuk Teknis Marka Jalan.," Jakarta, 2019.
- [4] Y. Haik and T. Shanin, "Engineering Design Process, Second Edition," *CENGAGE Learning*, 2011.
- [5] N. R. J and G. D.K, *The Finite Element Method in Heat Transfer and Fluid Dynamics*, CRC Press, 2010.
- [6] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 2010.
- [7] R. C and Juvinall, *Fundamentals of Machine Component Design*, 2012.