

## INTISARI

*Corrugated Steel Plate* (CSP) merupakan salah satu struktur yang dapat menjadi alternatif jembatan konvensional. Struktur CSP memiliki wujud plat yang dapat dirangkai menjadi satu kesatuan menjadikannya mudah, cepat, dan efisien dalam pelaksanaan konstruksi. Meskipun teknologi ini telah masuk Indonesia sejak lama, namun sampai tugas akhir ini ditulis belum tersedia standar nasional yang secara khusus mengatur perancangan struktur CSP. Selain itu, Minimnya literatur dalam negeri terkait perancangan struktur CSP juga mempersulit proses validasi hasil perhitungan bagi beberapa praktisi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan program perencanaan struktur CSP menggunakan *Visual Basic for Application* (VBA) pada Microsoft Excel, yang diberi nama *Corrugated Steel Plate Macro Application* (CSPMA). Program ini dirancang untuk melakukan perhitungan struktur berdasarkan standar yang diterbitkan oleh American Iron and Steel Institute (AISI) dan Canadian Highway Bridge Design Code (CHBDC) serta mampu menyesuaikannya dengan standar pembebanan nasional SNI 1725:2016. Program ini membuat proses perencanaan struktur CSP dapat dilakukan secara lebih cepat, efisien, dan sistematis, serta dapat menjadi referensi awal bagi perencana infrastruktur di Indonesia.

Program CSPMA diuji pada berbagai jenis struktur CSP mulai dari struktur bentang kurang dari 3 meter dan struktur bentang lebih dari 3 meter. Hasil uji kemudian dibandingkan dengan laporan perhitungan dari PT. Cahaya Metal Perkasa serta AISI. Hasil pengujian menunjukkan bahwa program mampu menghasilkan keluaran perhitungan dengan selisih hasil kurang dari 5% pada beberapa data pembanding. Meskipun terdapat beberapa hasil yang menunjukkan selisih *error* lebih dari 10%, hal tersebut disebabkan oleh perbedaan asumsi seperti faktor aman, kedalaman timbunan ketika konstruksi, serta beban hidup alat konstruksi. Selain itu, program ini juga mampu melakukan perhitungan beragam tipe struktur dengan variasi ketebalan yang berbeda sekaligus, serta mampu mengidentifikasinya berdasarkan tipe struktur paling optimal dan efisien dari sisi kekuatan, umur layan dan biaya berdasarkan konsep *value engineering* (VA) dengan metode *performance-cost ratio* (PCR).

**Kata kunci:** *Corrugated Steel Plate, Value Engineering, Visual Basic, Jembatan, Efisiensi*

## ***ABSTRACT***

Corrugated Steel Plate (CSP) is a type of structure that can serve as an alternative to conventional bridges. CSP structures consist of plates that can be assembled into a unified system, making them easy, fast, and efficient to construct. Although this technology has been introduced in Indonesia for quite some time, as of the writing of this thesis, there is still no national standard that specifically regulates the design of CSP structures. Furthermore, the lack of domestic literature related to CSP design also hinders the validation process for calculation results among some practitioners.

This study aims to develop a CSP structural design program using Visual Basic for Applications (VBA) in Microsoft Excel, named the Corrugated Steel Plate Macro Application (CSPMA). The program is designed to perform structural calculations based on standards issued by the American Iron and Steel Institute (AISI) and the Canadian Highway Bridge Design Code (CHBDC), while also being adaptable to the national loading standard SNI 1725:2016. With this program, the CSP design process can be carried out more quickly, efficiently, and systematically, and it can serve as an initial reference for infrastructure planners in Indonesia.

The CSPMA program was tested on various types of CSP structures, including those with spans of less than 3 meters and those exceeding 3 meters. The test results were then compared with calculation reports from PT. Cahaya Metal Perkasa as well as AISI. The results showed that the program was able to produce calculation outputs with a deviation of less than 5% in several comparison cases. Although some results showed deviations greater than 10%, this was due to differences in assumptions such as safety factors, burial depth during construction, and live loads from construction equipment. The program is also capable of performing calculations for various structure types with different plate thicknesses simultaneously, and identifying the most optimal and efficient structural type in terms of strength, service life, and cost based on the value engineering (VA) concept using the performance-cost ratio (PCR) method.

**Keywords:** Corrugated Steel Plate, Value Engineering, Visual Basic, Bridge, Efficiency

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Menurut Badan Standarisasi Nasional (2016a), jembatan adalah suatu konstruksi yang memungkinkan jalan, jalan kereta api, saluran pipa, atau saluran lainnya melewati rintangan seperti sungai, jalan, atau lembah dengan posisi horizontal. Salah satu jenis jembatan yang banyak digunakan adalah jembatan *Corrugated Steel Plate (CSP)*. *Corrugated steel structure* atau struktur baja bergelombang adalah material lembaran plat baja yang dibentuk menjadi bergelombang dengan bantuan alat mekanis tertentu. Perubahan bentuk tersebut meningkatkan nilai momen inersia yang membuat struktur menjadi lebih kuat dalam menahan beban (Putra H, 2022).

Kelebihan utama dari jembatan CSP adalah pelaksanaan yang relatif lebih cepat, pemasangan mudah, serta beban struktur yang relatif lebih ringan dari jembatan beton atau baja konvensional. Menurut Mulyono (2015), Penggunaan CSP dalam jembatan memungkinkan pelaksanaan lebih cepat dengan efisiensi biaya tinggi jika dibandingkan dengan sistem beton bertulang. Beban jembatan CSP yang relatif lebih ringan membuat jenis jembatan ini tidak membutuhkan pondasi yang masif. Secara keseluruhan, jembatan CSP merupakan pilihan alternatif untuk desain jembatan yang efisien dan hemat biaya.

Di Indonesia, penggunaan jembatan CSP sudah semakin umum, baik untuk kebutuhan jembatan di pertambangan dan perkebunan, jalan desa, hingga diaplikasikan untuk jalan tol dan jalan layang. Namun, sampai dengan waktu penulisan tugas akhir ini, belum tersedia standar nasional yang secara khusus mengatur tentang perencanaan dan perancangan struktur CSP ini. Saat ini, para perencana jembatan CSP akan mengacu pada standar internasional seperti Canadian Highway Bridge Design Code (CHBDC) (CSA, 2006), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2020), dan American Iron and Steel Institute (AISI, 2007). Meski demikian, beberapa praktisi belum sepenuhnya mengenali metode desain struktur CSP menggunakan standar-standar tersebut dengan tepat. Selain itu, minimnya literatur dalam negeri terkait desain struktur CSP juga mempersulit proses validasi hasil perhitungan, yang menjadi bagian penting dalam menjamin keandalan desain.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan akan efisiensi dalam proses desain struktur, pengembangan program bantu komputer menjadi sangat dibutuhkan. Namun, sampai tugas akhir ini ditulis belum ada program yang secara terbuka dan khusus digunakan untuk merancang struktur CSP. Tidak adanya standar perancangan khusus serta program bantu perancangan struktur CSP membuat pelaksanaan desain membutuhkan waktu yang cukup lama dan tidak efisien. Kegiatan *trial and error* desain yang merupakan salah satu fundamental dalam suatu perancangan (*engineering*) menjadi susah untuk dilakukan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, dalam tugas akhir ini dilakukan penelitian untuk mengembangkan sebuah program perhitungan otomatis menggunakan Visual Basic for Application (VBA) dalam software Microsoft Office Excel, yang diberi nama CSPMA (*Corrugated Steel Plate Macro Application*). Program CSPMA dirancang khusus untuk



menunjang proses perancangan struktur CSP agar lebih mudah, cepat, dan efisien. Program CSPMA mampu melakukan perhitungan struktur CSP dengan variasi ketebalan berbeda sekaligus secara otomatis. Program ini juga dilengkapi fitur perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) dan analisis kelayakan menggunakan pendekatan *value engineering*. Program ini tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu teknis, namun juga sebagai media pengambilan keputusan dalam menentukan desain struktur yang optimal dari segi kekuatan, ketahanan, maupun biaya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pengembangan program berbasis Visual Basic for Application (VBA) yang mampu menghitung kekuatan struktur dan mengestimasi biaya dari berbagai jenis dan tipe struktur *corrugated steel plate* (CSP) untuk menentukan struktur paling ekonomis sesuai dengan peraturan nasional.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan program perhitungan struktur *corrugated steel plate* (CSP) yang berbasis pada metode desain yang telah diakui secara internasional dan menyesuaikannya dengan standar nasional.
2. Menghasilkan program yang dapat melakukan desain struktur CSP pada beragam jenis plat bergelombang.
3. Menghasilkan program yang dapat melakukan desain struktur CSP untuk struktur dengan bentang pendek maupun bentang panjang.
4. Mengetahui tingkat akurasi program perhitungan berbasis VBA dengan membandingkan hasilnya terhadap data atau hasil hitungan yang telah dipublikasikan atau telah teruji pada proyek yang sudah ada.
5. Menghasilkan program yang mampu menghitung rencana anggaran biaya dan melakukan analisis biaya untuk menentukan struktur paling ekonomis.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Perhitungan berdasarkan metode Canadian Highway Bridge Design Code dan American Iron and Steel Institute.
2. Proses desain hanya menghitung struktur atas jembatan CSP.
3. Dimensi dan ketebalan plat yang digunakan program masih terbatas menggunakan profil CSP berdasarkan katalog produk baja PT. Cahaya Metal Perkasa.
4. Rencana anggaran biaya tidak termasuk struktur bawah jembatan dan struktur tambahan lainnya.
5. Tipe struktur *Deep Corrugated Steel Plate* (DCSP) dan struktur yang dimodifikasi tidak dapat dilakukan analisis biaya.
6. Timbunan yang dipakai adalah tanah urug.
7. Struktur CSP jenis *metal box* memiliki batas bentang maksimum 8 meter.
8. Dampak dari lingkungan tidak mempengaruhi perencanaan dan pemilihan jenis CSP.
9. Pelaksanaan konstruksi tidak mempengaruhi pemilihan jenis CSP.



## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan perangkat bantu desain struktur, khususnya struktur terkubur yang menggunakan *corrugated steel plate* (CSP) yang masih minim referensi di Indonesia.
2. Memberikan alternatif alat bantu desain CSP yang dapat digunakan oleh mahasiswa, dosen, maupun praktisi teknik sipil dalam proses perancangan awal.
3. Meningkatkan efisiensi dalam perancangan beragam struktur CSP, sehingga dapat mempercepat proses pengambilan keputusan teknis dan ekonomis yang bermanfaat bagi perencana, kontraktor, maupun pemilik proyek.
4. Dapat menentukan struktur CSP paling optimal dari segi kekuatan dan ketahanan dengan cepat.
5. Mendapatkan hasil keluaran perhitungan struktur berupa laporan sederhana yang memuat informasi struktur dan hasil analisis yang dapat dicetak.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi terdahulu

Penelitian secara spesifik mengenai pengembangan program berbasis Visual Basic for Application (VBA) untuk struktur *corrugated steel plate* belum pernah dilakukan sebelumnya. Berikut merupakan penelitian terkait *corrugated steel plate*, VBA, dan *value engineering* yang telah dilakukan.

1. Perancangan Struktur Komposit Baja Bergelombang Beton Bertulang Pada *Overpass* Pucung Lor, Kroya, Cilacap (Al-Bani, 2019).

Studi yang dilaksanakan oleh Al Bani (2019) merupakan perancangan *overpass* menggunakan teknologi Corrugated Mortar Busa Pusjatan (CMP) dengan mengambil studi kasus *Overpass* Pucung Lor, Kroya, Cilacap. Penggunaan CMP dipilih karena lokasi tersebut merupakan perlintasan kereta api, sehingga diperlukan metode pelaksanaan yang tidak mengganggu perjalanan kereta api. Struktur terdiri dari 3 bentang yaitu bentang 25 meter (P1) dan 12 meter (P2) untuk bentang kecil. Pemodelan menggunakan software Plaxis 2D untuk mendapatkan gaya-gaya pada struktur komposit. Hasil analisis menunjukkan gaya-gaya pada struktur komposit menggunakan timbunan tanah lebih besar dibanding timbunan mortar busa.

2. Integrasi VBA Excel dengan SAP2000 untuk Analisis Struktur Atas dan Design Ukuran Penampang Jembatan Rangka Baja Tipe Warren pada Bentang 40 s/d 60 Meter (Fahrezy, 2024).

Studi yang dilaksanakan oleh Fahrezy (2024) mengintegrasikan Microsoft Excel dengan SAP2000 melalui Open Application Programming Interface (OAPI) dengan bahasa pemrograman Visual Basic for Application (VBA). Program yang diberi nama Civil Engineering Macro Application – Warren Truss Bridge (CEMAPP-WTB) mampu menganalisis struktur jembatan rangka baja dalam 4 kondisi batas, yaitu kondisi kemudahan pelaksanaan, kondisi layan, kondisi fatik, dan kondisi ultimit. Program ini juga mampu membuat laporan sederhana terkait hasil analisis tersebut. *Output* dari program ini telah dilakukan validasi menggunakan contoh perhitungan pada Surat Edaran Binamarga Nomor 06/SE/Db/2021 yang menunjukkan perbedaan hasil analisis kurang dari 10%.

3. Evaluasi Struktur Komposit Baja Bergelombang Beton Bertulang Pada *Overpass* Pucung Lor Kroya Berbasis Finite Element 3D (Anggara, 2021).

Studi yang dilaksanakan oleh Anggara (2021) merupakan evaluasi struktur Corrugated Mortar Busa Pusjatan (CMP) yang berlokasi di perlintasan tidak sebidang (*Overpass*) Pucung Lor, Kroya. *Overpass* Pucung Lor memiliki 3 bentang, dimana bentang utama pelengkung 1 (P1) berukuran 25 meter dan dua bentang lainnya yaitu pelengkung 2 (P2) memiliki panjang 12 meter. Evaluasi dilakukan menggunakan pemodelan berbasis 3D

*finite element* dengan bantuan software MIDAS Civil untuk memeriksa kapasitas kekuatan struktur komposit antara beton bertulang dan *Corrugated Steel Plate* (CSP). Struktur komposit beton bertulang dengan CSP juga dibandingkan dengan desain non komposit CMP Pusjatan untuk melihat pengaruh terhadap gaya dalam, tegangan, dan lendutan CSP serta tegangan pada mortar busa. Hasilnya evaluasi pemodelan 3D overpass dengan MIDAS Civil menghasilkan gaya dalam P1 21,08% lebih kecil dan gaya dalam P2 26,02% lebih kecil dibandingkan Plaxis 2D. Lendutang P1 hasil evaluasi juga 37,50% lebih kecil dan 49,66% lebih kecil pada P2. Evaluasi P1 dan P2 dengan MIDAS Civil menghasilkan tegangan tarik dan tekan pada serat beton terluar, sedangkan hasil Plaxis 2D hanya menghasilkan tegangan tekan.

4. Mengembangkan Program Perhitungan Kebutuhan Tenaga Kerja dan Durasi Pekerjaan Konstruksi Menggunakan VBA for Microsoft Excel (Romadhon, 2022).

Studi yang dilaksanakan oleh Romadhon (2022) merupakan sebuah penelitian untuk membuat program kebutuhan jumlah tenaga kerja dan durasi pekerjaan konstruksi dengan ketentuan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) berdasarkan peraturan Menteri PUPR 1:2022 serta memvalidasi nilainya. Program tersebut dapat menyajikan hasil perhitungan dalam bentuk file dengan format PDF dan dapat disimpan dalam lokal data komputer. Hasil *output* program menunjukkan bahwa perhitungan akurat dengan selisih perhitungan tenaga kerja, jumlah hari kerja, dan percepatan durasi pekerjaan sebesar 0,00%.

5. Analisis *Value Engineering* Pada Pekerjaan Fondasi Tiang Bor (Al-Jabar, 2022).

Studi yang dilaksanakan oleh Al-Jabar (2022) melakukan analisis *value engineering* pada komponen fondasi bangunan masjid untuk mengefisienkan biaya sehingga dihasilkan desain fondasi yang paling ekonomis. Analisis *value engineering* dilakukan pada dua desain fondasi menggunakan program solver dengan metode *zero-one*. Hasil analisis menunjukkan desain pondasi baru memiliki biaya pekerjaan lebih murah dari pada desain fondasi awal.



## 2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian ini merupakan kajian baru mengenai pengembangan program perancangan struktur jembatan *corrugated steel plate*. Perbandingan studi yang telah dilakukan dengan keaslian penelitian penulis dapat dilihat pada Tabel 2. 1 sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Keaslian Penelitian

No	Judul	Tahun	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Penelitian Sekarang
1	Perancangan Struktur Komposit Baja Bergelombang Beton Bertulang Pada Overpass Pucung Lor, Kroya, Cilacap	2019	Penelitian merupakan perancangan struktur baja bergelombang pada <i>overpass</i> .	Penelitian membuat sebuah program perancangan struktur <i>corrugated steel plate</i> secara otomatis menggunakan VBA.
2	Integrasi VBA Excel dengan SAP2000 untuk Analisis Struktur Atas dan Design Ukuran Penampang Jembatan Rangka Baja Tipe Warren pada Bentang 40 s/d 60 Meter	2024	Penelitian membuat sebuah program pemodelan jembatan tipe Warren secara otomatis menggunakan SAP2000 pada bentang 40 s/d 60 meter.	Penelitian membuat sebuah program perancangan struktur <i>corrugated steel plate</i> secara otomatis menggunakan VBA.
3	Evaluasi Struktur Komposit Baja Bergelombang Beton Bertulang Pada Overpass Pucung Lor Kroya Berbasis Finite Element 3D	2021	Penelitian merupakan evaluasi overpass yang menggunakan struktur Komposit Baja bergelombang dengan Beton Bertulang.	Penelitian membuat sebuah program perancangan struktur <i>corrugated steel plate</i> secara otomatis menggunakan VBA.
4	Mengembangkan Program Perhitungan Kebutuhan Tenaga Kerja dan Durasi Pekerjaan Konstruksi Menggunakan VBA for Microsoft Excel	2022	Penelitian mengembangkan sebuah program perhitungan kebutuhan tenaga kerja serta estimasi durasi pekerjaan proyek menggunakan VBA.	Penelitian membuat sebuah program perancangan struktur <i>corrugated steel plate</i> secara otomatis menggunakan VBA.



No	Judul	Tahun	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Penelitian Sekarang
5	Analisis <i>Value Engineering</i> Pada Pekerjaan Fondasi Tiang Bor	2022	Penelitian melakukan analisis <i>value engineering</i> desain fondasi menggunakan bantuan solver dengan metode <i>zero-one</i> .	Penelitian membuat program yang mampu melakukan analisis <i>value engineering</i> menggunakan metode <i>present value</i> dan <i>performance cost ratio</i>

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Jembatan *Corrugated Steel Plate* (CSP)

Konsep *corrugated steel* pertama kali dikembangkan oleh Inggis pada tahun 1784. Teknologi ini dikenal karena tingkat kekakuan dan kekuatannya yang lebih tinggi dari plat baja biasa. Setelah 100 tahun atau lebih tepatnya pada tahun 1896, pipa *corrugated steel* pertama kali digunakan untuk saluran air (NCSPA, 2018). Sejak tahun tersebut, perkembangan *corrugated steel* mulai berkembang pesat. Mulai dari peningkatan diameter yang terus bertambah, serta kapasitas struktur yang juga meningkat seiring dengan perkembangannya. Sampai pada akhirnya struktur *corrugated steel* juga digunakan sebagai salah satu komponen struktur jembatan.

*Corrugated Steel Plate* (CSP) atau plat baja bergelombang adalah material lembaran plat baja yang dibentuk menjadi bergelombang dengan bantuan alat mekanis tertentu. Perubahan bentuk tersebut meningkatkan nilai momen inersia yang membuat struktur menjadi lebih kuat dalam menahan beban (Putra H, 2022). Hal tersebut membuat CSP mampu menahan deformasi secara signifikan. Penggunaan CSP untuk jembatan pada umumnya menggunakan struktur dengan bentuk pelengkung (*arch*). Dengan prinsip tersebut, struktur pelengkung mampu mengubah beban vertikal dari material di atasnya menjadi gaya tekan (*compression*) pada penampang CSP.

Kombinasi antara baja bergelombang dan sistem pendukung tanah di sekitarnya juga menciptakan mekanisme kerja komposit, di mana gaya-gaya yang bekerja pada struktur didistribusikan melalui interaksi antara baja dan tanah (*soil-structure interaction*). Oleh karena itu, kepadatan timbunan disekitar CSP sangatlah penting dalam mendukung kekuatan struktur CSP (Kang dkk., 2008).

Struktur CSP memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya pilihan yang efisien dan ekonomis untuk pembangunan jembatan. Salah satu keunggulan utama CSP adalah efisiensi biaya dan waktu konstruksi. Berkat bobotnya yang ringan, sehingga mempercepat proses instalasi dibandingkan dengan struktur beton bertulang atau baja konvensional. Selain itu, CSP memiliki kemampuan interaksi tanah-struktur yang unggul, dimana beban yang diterima oleh pelat baja bergelombang didistribusikan secara merata ke tanah di sekitarnya mengurangi kebutuhan akan fondasi yang sangat dalam.

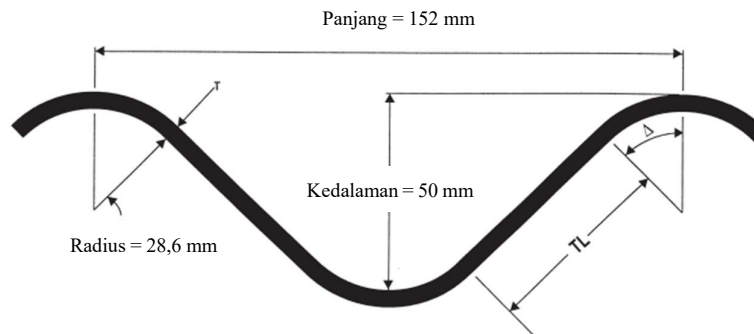
#### 3.2 Peraturan dan Standar yang Digunakan

1. American Iron and Steel Institute (AISI), *Handbook of Steel Drainage and Highway Construction second edition*. Standar ini digunakan sebagai dasar perencanaan struktur *Corrugated Steel Plate*.
2. *Canadian Highway Bridge Design Code* (CHBDC) oleh Canadian Standards Association (CSA) Group. Standar ini digunakan untuk merencanakan jembatan *Corrugated Steel Plate* dengan bentang 3 hingga 8 meter.
3. AASHTO LRFD *Bridge Design Specification*. Membahas mengenai standar perencanaan struktur bawah tanah.

4. ASTM A796/A796M-2010, *Standard Practice for Structural Design of Corrugated Steel Pipe, Pipe-Arches, and Arches for Storm and Sanitary Sewers and Other Buried Applications*. Standar ini digunakan sebagai dasar penentuan material yang digunakan seperti mutu baut dan plat bergelombang.
5. AS 2041-2042-1984, *Corrugated Steel Pipes, Pipe-Arches and Arches*. Standar ini digunakan sebagai standar dimensi *corrugated steel* dari PT. Cahaya Metal Perkasa.
6. SNI 1725:2016, Beban Minimum untuk Perencanaan Jembatan. Standar ini digunakan untuk menentukan beban yang digunakan serta kombinasinya.
7. SNI 2833:2016 Tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Digunakan sebagai acuan pembebanan gempa di Indonesia.
8. Permen PUPR No.8 Tahun 2023 Tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Digunakan sebagai acuan penyusunan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP).
9. Keputusan Bupati Sleman Nomor 36/Kep.KDH/A/2024 Tentang Standar Harga Satuan Barang dan Jasa. Sebagai acuan harga satuan barang dan jasa di Kabupaten Sleman.
10. AASHTO, *Standard Specifications for Highway Bridges*.

### 3.3 Karakteristik *Corrugated Steel Plate*

Karakteristik dari *corrugated steel plate* atau baja bergelombang adalah memiliki momen inersia yang tinggi walaupun dengan ketebalan kecil. Hal tersebut terjadi karena profil baja bergelombang menambah kekuatan lentur dari plat baja menjadikannya lebih kaku. Penampang *corrugated steel plate* diilustrasikan pada Gambar 3. 1.



Gambar 3. 1 Penampang *Corrugated Steel Plate* (AISI, 2007)

- a. *Depth* (tinggi gelombang), merupakan jarak ketinggian antara bukit dan lembah, mm.
- b. *Pitch* (panjang gelombang), merupakan jarak antar tinggi gelombang, mm.
- c. Panjang tangen ( $T_L$ ), merupakan bagian lurus yang menghubungkan antara radius bukit dan radius lembah, mm.
- d. Sudut tangen ( $\Delta$ ), merupakan sudut yang terbentuk antara tegak lurus puncak gelombang terhadap panjang tangen.
- e. Tebal plat ( $T$ ), ketebalan plat *corrugated steel*, mm.
- f. Momen inersia ( $I$ ), merupakan kekuatan plat dalam menahan lentur (*bending*), mm<sup>4</sup>.
- g. Luas plat ( $A$ ), luasan plat per satu milimeter, mm<sup>2</sup>/mm.



- h. Jari-jari girasi ( $r$ ), merupakan ukuran efisiensi distribusi luas penampang terhadap sumbu netral, mm.
- i. Modulus plastis ( $Z$ ), merupakan ukuran kapasitas penampang untuk menahan lentur plastis (*yielding*).

### 3.4 Jenis Corrugated Steel Plate

#### 1. Nestable

*Corrugated Steel* tipe nestable dikembangkan untuk meningkatkan kompetisi produk di pasar luas. Tipe ini dirancang secara modular sehingga mempermudah transportasi hingga pemasangan. Tipe ini menawarkan solusi ekonomis untuk meningkatkan efektivitas ruang pada saat pengiriman (AISI, 2007).

*Corrugated Steel* tipe nestable memiliki bentuk lingkaran (*pipe*) dengan dua plat setengah lingkaran yang dipasang saling berhadapan dan disambungkan menggunakan baut atau rivet (paku keling). Ukuran gelombang dari tipe ini merupakan yang terkecil yaitu berkisar antara 20 (*depth*) dan 100 (*pitch*) pada *Australian Standard*. Sehingga hanya digunakan untuk bentang pendek yaitu kurang dari 2 meter. Dimensi dari *nestable pipe* ini beragam, tergantung dari standar yang dipakainya.

#### 2. Multi plate/Structural Plate

*Structural plate* atau *multi plate* merupakan suatu struktur yang menggabungkan beberapa plat *corrugated steel* menjadi satu hingga membentuk satu struktur yang utuh. Penggabungan ini dapat dilakukan menggunakan baut dengan mutu tertentu yang diatur dalam standar seperti ASTM (AISI, 2007).

Ukuran dari *corrugated steel* tipe *multi plate* bervariasi, karena setiap standar memiliki ukuran yang berbeda. Ragam ukuran *corrugated steel* tipe multiplate dapat dilihat pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Perbedaan ukuran structural plate pada beberapa standar

Standar	Kedalaman Gelombang (mm)	Panjang Gelombang (mm)
ASTM A796/A796M (ASTM, 2010)	50,8	152,4
CSA-G401-14 (R2019)	51	152
AS 2041-2042 (SAA, 1984)	55 ± 3	200 ± 6

#### 3. Deep Corrugated Steel Plate

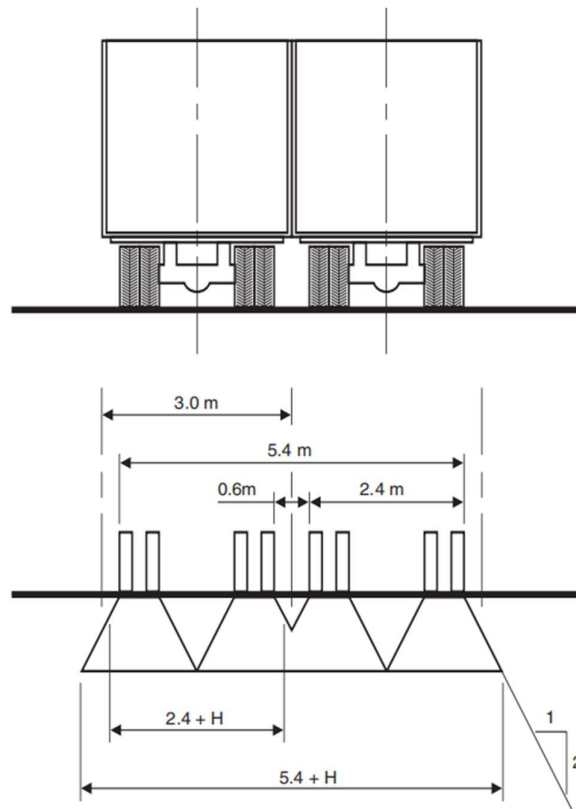
*Deep Corrugated Steel Plate* (DCSP) memiliki ukuran gelombang yang terbesar dibandingkan jenis lainnya. Panjang gelombangnya berkisar antara 380 hingga 400 mm dan kedalaman gelombang antara 140 hingga 150 mm. Dengan ukuran gelombang yang besar, DCSP mampu diaplikasikan untuk jembatan dengan bentang yang lebih panjang.



### 3.5 Distribusi Tegangan di Dalam Tanah

Menurut Hardiyatmo (2018), tegangan yang terjadi di dalam tanah dapat terjadi karena beban yang bekerja di permukaan atau beban akibat berat sendiri tanah tersebut. Besarnya tegangan yang berasal dari beban eksternal di permukaan tanah akan berangsur-angsur berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman tanah. Sebaliknya, tegangan yang berasal dari berat sendiri tanah akan bertambah bila kedalaman bertambah.

Dengan prinsip yang sama pada struktur *Corrugated Steel Plate*, besarnya tegangan yang terjadi pada plat CSP bergantung pada kedalaman timbunan di atasnya. Untuk menghitung tegangan yang terjadi pada permukaan plat CSP, CHBDC menggunakan metode penyebaran beban 2V:1H untuk menghitung tegangan yang terjadi akibat beban hidup. Seperti yang disebut Hardiyatmo (2018), metode penyebaran beban 2V:1H (2 Vertikal dibanding 1 Horizontal) merupakan salah satu pendekatan kasar yang sederhana. Dengan cara ini, beban dianggap didukung oleh piramid yang mempunyai kemiringan sisi 2V:1H. Seperti yang dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 Distribusi Tegangan Tanah (AISI, 2007)

Dengan pendekatan ini, nilai tambahan tegangan vertikal dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{(L+z)(B+z)} \quad (3.1)$$

dengan,

$\Delta\sigma_z$  = tambahan tegangan vertikal (kN/m<sup>2</sup>),



$Q = qLB$  = beban total pada dasar fondasi (kN),

$q$  = beban terbagi rata pada dasar fondasi (kN/m<sup>2</sup>),

$L$  = panjang beban (m),

$B$  = lebar beban (m),

$Z$  = kedalaman dasar timbunan (m).

### 3.6 Perencanaan Struktur CSP

#### 3.6.1 Pembebanan berdasarkan SNI 1725:2016

Pembebanan untuk struktur CSP disesuaikan dengan standar nasional Indonesia SNI 1725:2016 tentang pembebanan untuk jembatan. Beban yang digunakan dalam perhitungan adalah beban permanen (beban sendiri dan beban mati tambahan), beban lalu lintas, dan beban gempa.

##### 1. Beban sendiri (MS)

Menurut Badan Standarisasi Nasional (2016a), berat sendiri merupakan berat dari komponen-komponen struktural dan komponen non-struktural yang dianggap tetap. Faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Faktor beban untuk berat sendiri (SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ ) Bahan	Faktor Beban ( $\gamma_{MS}$ )		
			Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ ) Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sedangkan berat isi untuk beban mati ditunjukkan pada Tabel 3. 3.

Tabel 3. 3 Berat isi untuk beban mati (SNI 1725:2016)

No	Bahan	Berat Isi (kN/m <sup>3</sup> )	Kerapatan Massa (kN/m <sup>3</sup> )
1	Lapisan permukaan beraspal ( <i>bituminous wearing surfaces</i> )	22,0	2245
2	Timbunan tanah dipadatkan ( <i>compacted sand, silt or clay</i> )	17,2	1755
3	Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )	22,0	2245
4	Beton $f_c' < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
5	Baja ( <i>steel</i> )	78,5	7850

##### 2. Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah beban elemen non struktural yang besarnya dapat berubah seiring dengan bertambahnya usia bangunan. Pada jembatan beban mati tambahan dapat

berupa lapisan perkerasan lentur dan genangan air (Badan Standarisasi Nasional, 2016a). Faktor beban mati tambahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Faktor beban untuk beban mati tambahan (SNI 1725:2016)

Tipe beban	Faktor Beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MA}^S$ ) Keadaan	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MA}^U$ )		
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Umum	1,00	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

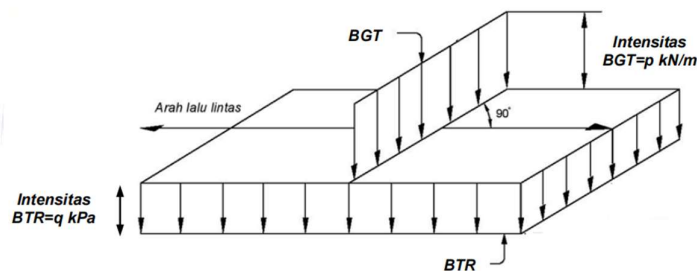
Catatan : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

### 3. Beban lalu lintas (LL)

Beban lalu lintas terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” merupakan beban merata pada seluruh jalur kendaraan yang memberikan pengaruh ekuivalen dengan iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Sedangkan beban truk “T” merupakan beban satu kendaraan golongan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdapat 2 bidang kontak pembebanan yang merupakan simulasi roda kendaraan berat. Tiap lajur lalu lintas hanya diterapkan satu beban truk “T”.

#### a. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri dari kombinasi antara beban terbagi rata (BTR) dengan beban gari (BGT) seperti yang terlihat pada Gambar 3. 3 Beban lajur “D”.



Gambar 3. 3 Beban lajur “D” (SNI 1725:2016)

Beban terbagi rata (BTR) memiliki intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  seperti berikut ini:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \quad (3. 2)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (3. 3)$$

dengan,

$q$  = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan, kPa,

$L$  = panjang total jembatan yang dibebani, m.