

# Modifikasi Perkerasan Apron Pada Bandar Udara Juwata Tarakan Menggunakan Pelat Berongga Dua Arah

Noerman Adi Prasetya

<sup>1</sup>Universitas Borneo Tarakan, Jalan Amal Lama No. 01 Tarakan, Indonesia  
e-mail: [noerman@borneo.ac.id](mailto:noerman@borneo.ac.id)

## Abstract

*The purpose of this research is to develop a two-way hollow slab as an alternative pavement for the development of the Juwata Airport apron, Tarakan City, while the research method to be carried out is to modify the existing apron pavement structure with the new type of structure offered, then the results of the new design will be compared with the existing design. The results obtained are i) the number of surface reinforcement to withstand the bending of the 2-way cavity slab structure as an apron pavement is relatively the same as conventional pavement, but for the slab system that is offered the placement of reinforcement is 2 layers, ii) the total volume of concrete usage is reduced by 23.52 %, iii) the volume of use of reinforcing iron increased by 100%. This research is expected to be information and input for structural planners in designing buildings made of reinforced concrete, especially in rigid pavement structures, then provide an alternative type of apron structure for the future development of Juwata Airport.*

**Keywords:** Rigid Pavement, Apron, Rigid Pavement Restraints

## Abstrak

*Tujuan dari penelitian ini adalah menemukembangkan pelat berongga dua arah sebagai alternatif perkerasan untuk pengembangan apron Bandar Udara Juwata Kota Tarakan, adapun metode penelitian yang akan dilaksanakan adalah dengan memodifikasi struktur perkerasan apron eksisting dengan jenis struktur baru yang ditawarkan, lalu hasil dari desain baru tersebut akan dikomparasikan dengan desain eksisting. Hasil yang diperoleh adalah i) jumlah tulangan permukaan untuk menahan lentur struktur pelat rongga 2 arah sebagai perkerasan apron relatif sama dengan perkerasan konvensional, akan tetapi untuk sistem pelat yang ditawarkan penempatan tulangan menjadi 2 lapis, ii) jumlah volume pemakaian beton berkurang sebesar 23,52%, iii) jumlah volume pemakaian besi tulangan meningkat 100%. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi dan masukkan kepada perencana struktur dalam mendesain bangunan berbahan beton bertulang, khususnya pada struktur perkerasan kaku, lalu memberikan alternatif jenis struktur apron untuk pengembangan Bandar Udara Juwata kedepannya.*

**Kata kunci:** Perkerasan Kaku, Apron, Tumpuan Perkerasan Kaku

## 1. Pendahuluan

Pergerakan pesawat yang terus meningkat seiring terus tumbuhnya jumlah penumpang setiap tahunnya menjadikan sarana dan prasarana Bandara Juwata yang merupakan bandara kelas I utama yang dikelola oleh UPT Direktorat Jenderal Perhubungan Udara juga idealnya turut mengalami peningkatan, salah satunya fasilitas yang akan ditingkatkan adalah luas apron. Apron yang berada pada sisi udara (*airside*) langsung bersinggungan dengan bangunan terminal yang tentunya berdampak besar pada seberapa besar kemampuan apron untuk melayani pesawat yang akan parkir dan melakukan aktifitas lainnya. Apron pada Bandara Juwata Tarakan terbagi menjadi beberapa area

yaitu area yang diperuntukkan untuk pesawat berbobot sedang seperti Boeing 737 dan Airbus A320 dan area untuk pesawat kecil seperti Cessna Grand Caravan. Pada umumnya, penggunaan sistem struktur *flat slab* maupun *flat plate* populer di beberapa negara tertentu karena sistem ini menjadikan kapasitas hunian menjadi lebih banyak (Qian & Li, 2013). Struktur pelat berongga dua arah adalah jenis struktur yang termasuk dalam tipe struktur *flat plate* yakni sistem struktur gedung dengan elemen utama berupa kolom dan pelat tanpa menggunakan balok. Sistem pelat rongga dua arah juga merupakan inovasi terbaru dari pengembangan sistem pelat beton dengan keunggulan mampu mereduksi pemakaian beton pada gedung sebesar 26 persen (Prasetya, 2021), bahkan hingga 30 persen lebih (Taskin & Peker, 2014), serta pada perkerasan kaku untuk jalan dapat mereduksi pemakaian beton sebesar 23,52 persen (Prasetya & Yonathan, 2023). Sistem pelat rongga dua arah merupakan evolusi dari gabungan sistem *waffle slab* (pelat rusuk) dan *hollow slab* satu arah. Pada gedung, perkuatan sistem struktur ini difokuskan pada bagian pertemuan antara pelat dan kolom, karena berdasarkan penelitian Prasetya & Hernadi (2017) diketahui bahwa variasi tegangan berada pada bagian *column strip*, sedangkan bagian *middle strip* tegangan sangat kecil. Terdapat bermacam-macam bentuk geometri dari rongga sistem pelat berongga dua arah, seperti pada penelitian Chung dkk (2010) yang menguji pengaruh bentuk rongga terhadap kekuatan pelat, penelitian ini menguji 8 macam bentuk rongga dan menyimpulkan bahwa jenis rongga yang bekerja paling efektif menahan beban adalah dengan bentuk *smooth rectangular donuts*, penelitian lain dilakukan oleh Lai (2009) menunjukkan bahwa besarnya momen maksimum, gaya geser, dan tegangan permukaan dari struktur pelat berongga dua arah berkurang 30 – 40% dibandingkan dengan *solid slab* dengan ketebalan yang sama.

Parameter dominan dalam perencanaan apron sangat dipengaruhi oleh jenis dan tipe pesawat yang akan menggunakan bandara ini. Struktur perkerasan bandara berbeda dengan struktur-struktur perkerasan pada jalan biasa, karena beban, jenis kendaraan, dan sumbu roda kendaraannya juga berbeda dengan jalan pada umumnya. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan kajian terkait alternatif jenis perkerasan untuk pengembangan apron Bandar Udara Juwata, yang mana dalam hal ini penulis menawarkan perkerasan menggunakan pelat dengan rongga dua arah.

Lendutan berlebih dari perkerasan kaku yang terbebani dengan beban besar serta didukung oleh tanah dengan kondisi kurang stabil dapat dikurangi dengan meningkatkan kekakuan melalui penambahan tebal perkerasan. Akan tetapi penambahan tebal pelat akan berbanding lurus dengan peningkatan volume beton dan tentu akan berdampak pada tingginya harga pekerjaan. Berdasarkan hal tersebut maka sistem pelat berongga dua arah sebagai perkerasan kaku merupakan alternatif yang ideal untuk masalah tersebut karena volume rongga-rongga yang ada pada sistem ini akan disubstitusi menjadi volume beton untuk meningkatkan tebal pelat itu sendiri.

## 2. Metode Penelitian

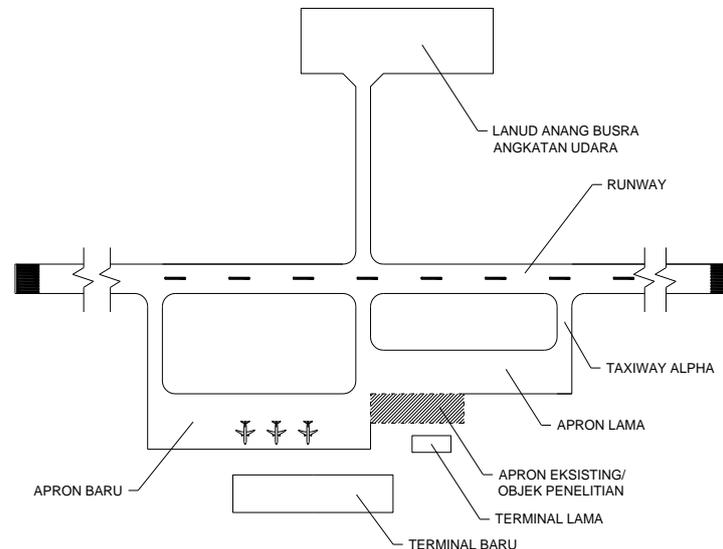
### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan dengan objek penelitian adalah Bandar Udara Juwata Kota Tarakan Provinsi Kalimantan Utara. Apron eksisting pada penelitian ini merupakan perluasan dari apron lama yang difungsikan sebagai area parkir pesawat-pesawat perintis dan helikopter. Apron ini terletak di antara *taxiway Alpha* dan *taxiway Bravo* yang mana dengan adanya apron ini maka jarak penumpang pesawat yang ingin menuju terminal semakin dekat begitu juga sebaliknya. Dimensi bersih dari apron ini adalah 120m x 45m dengan jenis perkerasan adalah *rigid pavement* (perkerasan kaku) seperti terlihat pada Gambar 1.

### 2.2. Analisis Struktur

Analisis struktur dalam rangka modifikasi struktur perkerasan kaku apron yang didasarkan pada ukuran dan kondisi eksisting yang ada, untuk mendapatkan gaya-gaya dalam akibat berbagai

kombinasi pembebanan. Analisis yang dilakukan berdasarkan struktur pelat dengan rongga 2 arah yang dimodelkan sebagai apron menggunakan bantuan aplikasi berbasis *finite elemen method*. Adapun pemodelan yang dilakukan meliputi: i) penentuan konstanta pegas tumpuan pelat, ii) penentuan parameter pelat dengan rongga 2 arah sebagai apron, iii) penentuan apron berdasarkan jenis pesawat, selanjutnya hasil dari analisis struktur adalah berupa deformasi dan gaya lentur.

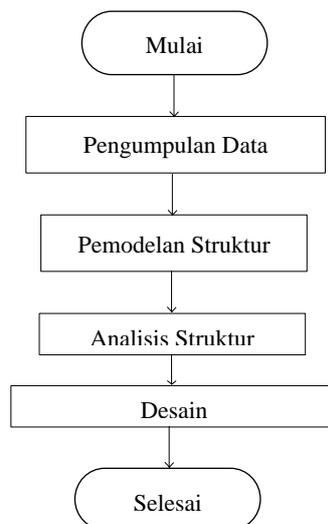


**Gambar 1 Layout Lokasi Apron**

### 2.3. Desain Perkuatan

Tahap desain perkuatan ini dilakukan setelah diperoleh hasil analisis struktur yang dirangkum menjadi gaya-gaya dalam, selanjutnya hasil analisis struktur tersebut akan dilakukan evaluasi berupa kontrol kapasitas, khususnya pada daerah pelat yang sering terbebani. Nilai kekuatan kondisi eksisting struktur akan disimulasikan untuk kondisi layan struktur yang nantinya akan dikomparasikan dengan struktur perkerasan apron eksisting.

### 2.4. Tahapan Penelitian



**Gambar 2 Diagram Alir Penelitian**

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil Penentuan Konstanta Pegas Landasan

Konstanta pegas ditentukan berdasarkan jenis tanah pada lokasi apron yakni lempung berpasir dengan nilai *Modulus of subgrade reaction* arah vertikal ( $k_{sv}$ ) sebesar  $30000 \text{ KN/m}^3 = 3 \text{ kg/cm}^3$ . Pelat diskritisasi menjadi 1794 *shell* tipe *plate* dan 1890 *join* dengan lebar tiap *shell* sebesar 1.75m. Karena struktur terletak di atas tanah, maka pada setiap *join-join* ini akan diberi tumpuan pegas (*springs*) sebagai model tumpuan elastis dari tanah.

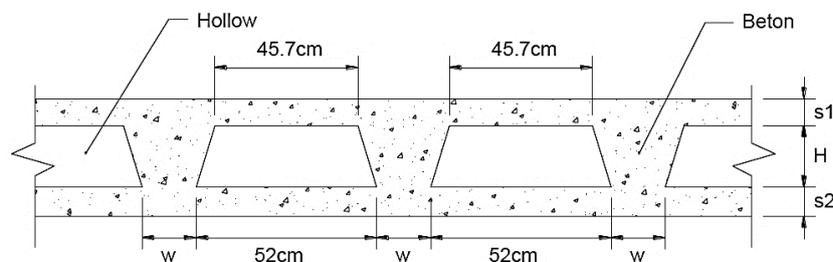
Berdasarkan parameter di atas sebelumnya, maka harga konstanta pegas arah vertikal adalah  $175 \text{ cm} \times 175 \text{ cm} \times 3 \text{ kg/cm}^3 = 91875 \text{ kg/cm}$ . Adapun distribusi konstanta pegas dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Distribusi konstanta pegas pada *join-join meshing***

Posisi Join	$K_{sv}$ ( $\text{kg/cm}$ )
Bagian dalam	91875
Bagian sudut	22967
Bagian tepi luar	45938

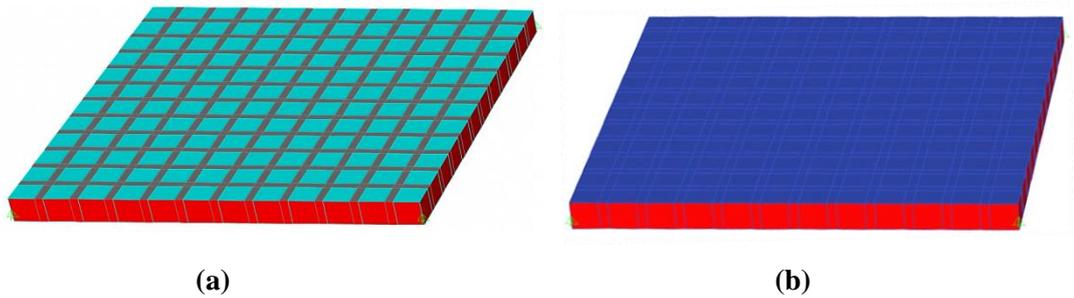
#### 3.2. Hasil Penentuan Parameter Pelat Berongga dua Arah

Bentuk dan ukuran rongga pada sistem struktur ini mengambil dari produk U-Boot yang ukuran modul rongganya berbentuk trapesium dengan panjang 45,7 cm pada bagian atas, 52 cm pada bagian bawah, dan tinggi sebesar 20 cm. Parameter dari rongga yang digunakan adalah tebal selimut rongga ( $s$ ) sebesar 10 cm, tebal rongga ( $H$ ) sebesar 20 cm, jarak tepi-tepi antar rongga ( $w$ ) sebesar 20 cm, sedangkan ukuran lebar rongga menyesuaikan bentuk modul dari produk U-Boot beton pada Gambar 3.



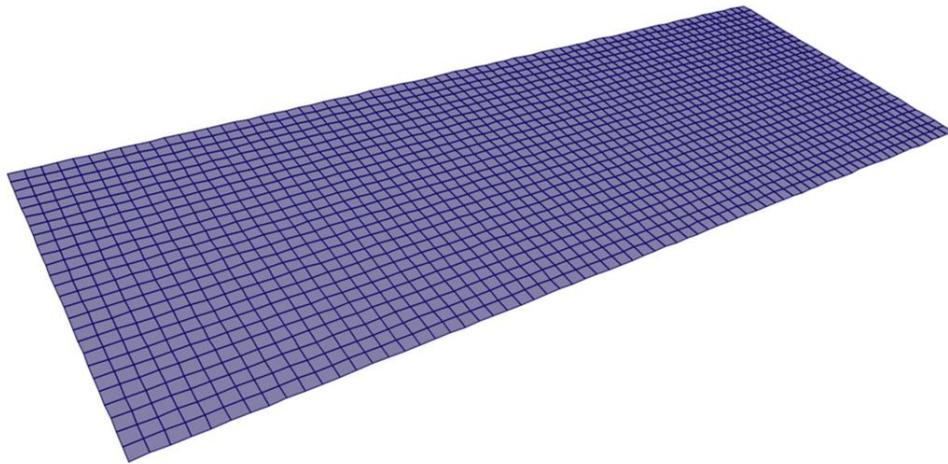
**Gambar 3 Bentuk dan Ukuran Rongga**

Disebabkan sangat sulitnya melakukan pemodelan sistem pelat dengan rongga 2 arah secara langsung, karena akan terbentuknya pola *meshing* yang tidak seragam, sedangkan keseragaman ukuran *meshing* sangat sensitif terhadap reabilitas hasil analisa struktur berbasis *Finite Element Method* (Hwang & Moehle, 2000), maka pemodelan rongga dilakukan dengan melakukan ekivalensi kemampuan lentur antara pelat ber-rongga (Gambar 4a) dengan pelat solid (Gambar 4b) yang diberikan beban merata yang sama. Berdasarkan hal tersebut diberikan alternatif dengan melakukan reduksi kekuatan pada pelat berongga dibandingkan model pelat solid dengan acuan parameter yang diukur adalah lendutan pada bagian tengah panel pelat, kemudian hasil lendutan pada tengah panel pelat solid terhadap model pelat ber-rongga sebagai target reduksi kekakuan lentur, sehingga dengan data pelat berongga seperti pada Gambar 3 diperoleh angka reduksi kekakuan lentur sebesar 0.873.



(a) (b)  
**Gambar 4 Model untuk mencari reduksi kekakuan lentur slab**  
 a) model pelat berongga 2 arah; b) model *solid slab*

Ukuran meshing yang digunakan dalam pemodelan ini adalah seragam pada seluruh area pelat sebesar 1.75m. Mesh model pengujian plat berongga dapat dilihat Gambar 5, nilai tersebut untuk memudahkan dalam meletakkan beban terpusat dengan mempertimbangkan jarak antar roda pesawat *wheel base* maupun *wheel tread*.



**Gambar 5 Hasil diskritisasi model pelat berongga 2 arah**

### 3.3. Hasil Penentuan Beban Apron Berdasarkan Jenis Pesawat

Jenis pesawat rencana yang parkir pada apron ini adalah Cessna Caravan dengan *Maximum Ramp Weight* (MRW) yang digunakan sebagai beban apron dalam pemodelan ini adalah sebesar 3645 kg (8035 lb). *Maximum Ramp Weight* adalah berat maksimum pesawat yang diijinkan untuk pergerakan di darat atau pergerakan di antara apron menuju ke ujung landasan pacu yang dibatasi oleh kekuatan pesawat dan persyaratan ukuran penerbangan. Adapun secara garis besar karakteristik pesawat dapat dilihat pada Tabel. 2 dan Gambar 6.

**Tabel. 2 Karakteristik Pesawat Rencana**

No	Karakteristik	Satuan	Nilai
1.	Dimensi		
	Panjang	m	11,46
	Tinggi	m	4,53
	Bentang sayap	m	15,87
	<i>Wheel base</i>	m	3,54
	<i>Wheel tread</i>	m	3,56
2.	Berat		

No	Karakteristik	Satuan	Nilai
	<i>Maximum ramp weight</i>	kg	3645
	<i>Maximum Takeoff Weight</i>	kg	3629
	<i>Maximum Landing Weight</i>	kg	3538



**Gambar 6 Dimensi Panjang dan Lebar Pesawat Cessna Caravan**

Pembebanan yang berasal dari roda pesawat dianggap bahwa 5% beban diberikan kepada *Nose Gear* sedangkan yang 95% dibebankan kepada *Main Gear*, bila ada dua *Main Gear* masing-masing gear menahan 47,5% beban pesawat. Pesawat Cessna Caravan memiliki konfigurasi roda *single wheel* dengan penamaan dari FAA adalah kategori S. Berdasarkan hal tersebut, maka dengan *maximum ramp weight* sebesar 3645 kg diperoleh beban untuk pemodelan adalah pada roda depan sebesar 183 kg dan beban pada roda belakang sebesar 1732 kg untuk masing-masing rodanya.

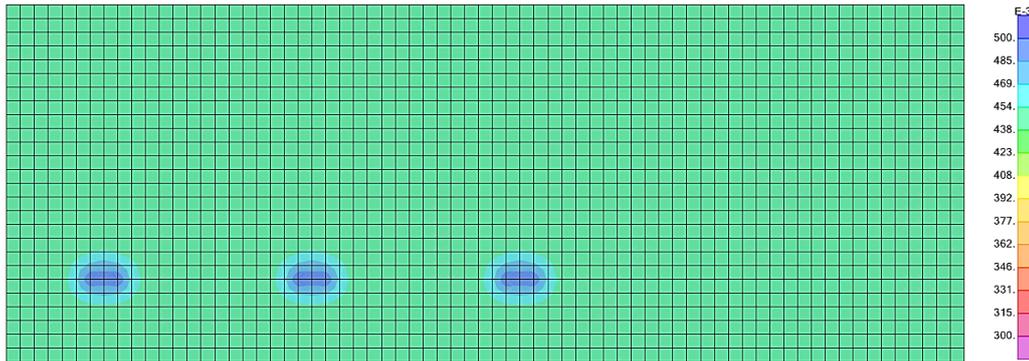
### 3.4. Hasil Analisis Struktur

Analisis struktur pelat dengan rongga 2 arah yang dimodelkan sebagai apron menggunakan bantuan aplikasi berbasis finite elemen method SAP2000. Adapun hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3, kontur deformasi dapat dilihat pada Gambar 7, kontur momen arah horizontal dapat dilihat pada Gambar 8, dan kontur momen arah vertikal dapat dilihat pada Gambar 9.

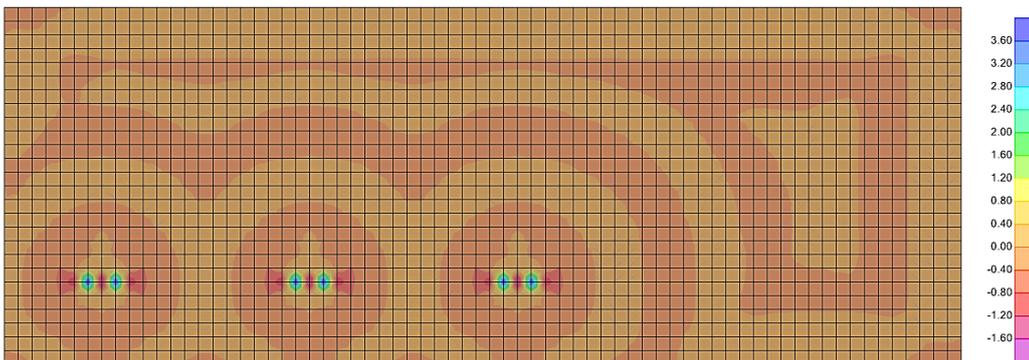
**Tabel. 3 Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur**

No	Karakteristik	Satuan	Nilai
1.	Deformasi pelat yang tidak terbebani	mm	0,441
2.	Deformasi pelat terbebani roda depan	mm	0,456
3.	Deformasi pelat terbebani roda belakang	mm	0,499
4.	Momen 1-1 pelat untuk area yang tidak terbebani	KN-m/m	0,009
5.	Momen 1-1 pelat untuk area terbebani roda depan	KN-m/m	0,477
6.	Momen 1-1 pelat untuk area terbebani roda belakang	KN-m/m	3.870

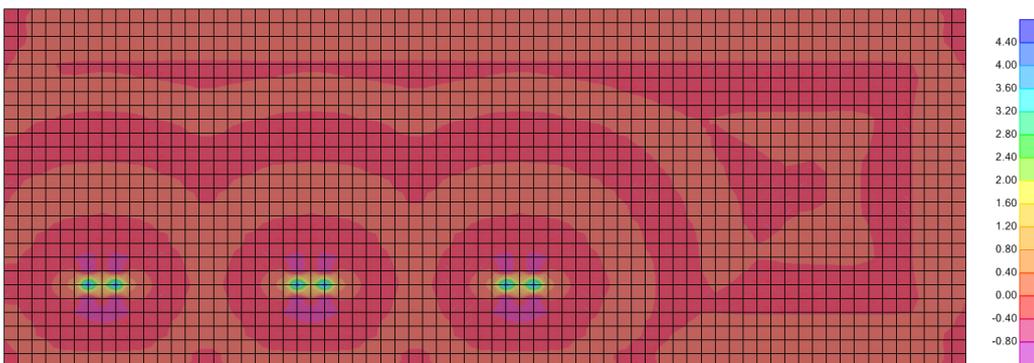
No	Karakteristik	Satuan	Nilai
7.	Momen 2-2 pelat untuk area yang tidak terbebani	KN-m/m	0.002
8.	Momen 2-2 pelat untuk area terbebani roda depan	KN-m/m	-0.321
9.	Momen 2-2 pelat untuk area terbebani roda belakang	KN-m/m	4,331



Gambar 7 Hasil Deformasi Pelat



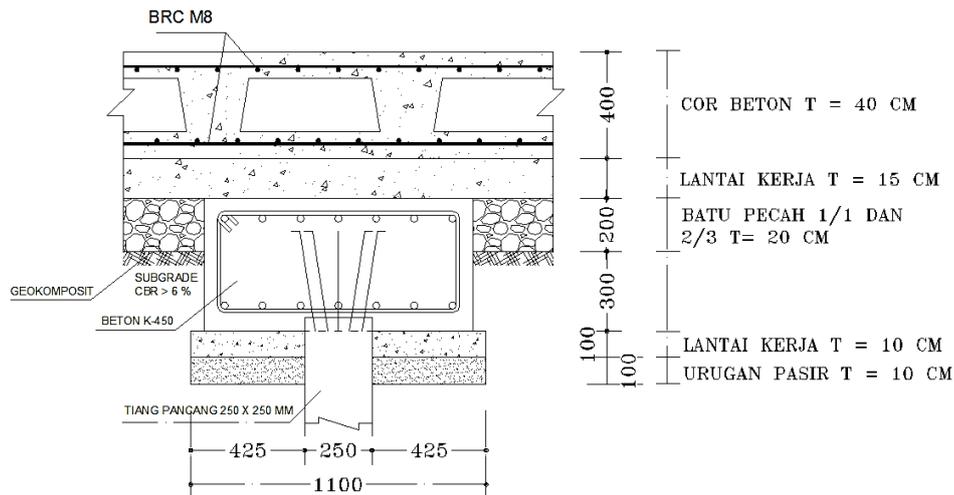
Gambar 8 Hasil Momen Arah Sumbu Horizontal (M11)



Gambar 9 Hasil Momen Arah Sumbu Vertikal (M22)

### 3.5. Hasil Desain

Berdasarkan data dari hasil analisis struktur untuk deformasi maksimum sebesar 0,499 mm di posisi roda belakang pesawat dan momen maksimum juga di posisi roda belakang pesawat sebesar 4,331 KNm, maka penggunaan tulangan  $\varnothing 8$ -150mm seperti pada kondisi eksisting dapat digunakan. Adapun hal yang membedakan dengan kondisi eksisting dalam hal perkuatan adalah posisi tulangan *wiremesh* yang mana dalam desain ini diletakkan 2 layer dikarenakan selimut beton pada daerah rongga sangat rawan *crack* karena relatif tipis. Potongan gambar perkuatan pada struktur pelat dengan rongga dua arah dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Potongan perkuatan struktur pelat dengan rongga 2 arah

## 4. Kesimpulan

Jumlah tulangan untuk menahan lentur struktur pelat rongga 2 arah sebagai perkerasan apron relatif sama dengan perkerasan konvensional, perbedaan hanya terletak pada penempatan tulangan untuk pelat apron dengan sistem rongga 2 arah menjadi 2 lapisan. Dibandingkan dengan sistem pelat konvensional, jumlah volume pemakaian beton berkurang sebesar 23,52% untuk pelat apron dengan sistem rongga 2 arah. Dibandingkan dengan sistem pelat konvensional, jumlah volume pemakaian tulangan meningkat 100% untuk pelat apron dengan sistem rongga 2 arah.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan bantuan dana penelitian sehingga penelitian ini dapat terbiayai dan terlaksana dengan baik.

## Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional, 2019, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*, Jakarta
- Chung, J.H, dkk, 2010, *Proceedings of Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures S-7*, May 23-28, Hal: 1729-1736
- Edward G. Nawy, Bambang Suryoatmono, 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Bandung, Eresco

- Hwang, S.J., dan Moehle, J.P, 2000, *Models for Laterally Loaded Slab-Column Frames*, ACI Structural Journal, V.97, No. 2, Maret-April , hal.345-351
- Lai, T, 2009, *Structural Behavior of Bubbledeck® Slabs and Their Application to Lightweight Bridge Decks*, Thesis at Departement of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge: Tidak diterbitkan
- Prasetya, N.A, Yonathan, 2023, *Deformasi Pelat Berongga Dua Arah Sebagai Perkerasan Kaku Pada Tanah Ekspansif*, Civil Engineering Scientific Journal, Vol. 2 No.2, Hal: 97-108
- Prasetya, N.A, 2021, *Perbandingan Sistem Pelat-Balok Konvensional Dengan Sistem Flat Plate Berongga Dua Arah Dari Segi Volume Beton Pada Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan*, Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil, Vol. 5 No.3, Hal: 330-334
- Prasetya, N.A, Hernadi, A, 2017, *Desain Tulangan Lentur Pelat Pada Struktur Flat Plate Ber-Hollow Dua Arah Dengan Metode Lebar efektif*, INOVTEK POLBENG, Vol.7 No.2, Hal: 146-152
- Taskin, T, dan Peker, K, 2014, *Design Factors and The Economical Application of Spherical Type Voids in RC Slabs*, Proceedings of International Scientific Conference People, Buildings and Environment 2014, Hal: 448-458.
- Qian, K, dan Li, Bing, 2013, *Experimental Study of Drop-Panel Effects on Response of Reinforced Concrete Flat Slabs after Loss of Corner Column*, ACI Structural Journal, Vol.110 No.28.