



# Optimasi Kapasitas Parkir Pesawat Menggunakan Kombinasi *No-Fit Polygon*

Geraldina Dyah Ayu Larasati<sup>1,2</sup> & Edy Suwondo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Dirgantara, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa No. 10 Bandung 40132, Jawa Barat

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa No. 10 Bandung 40132, Jawa Barat

Email: esuwondo@itb.ac.id

**Abstract.** Optimasi kapasitas area parkir diperlukan untuk memaksimalkan pemanfaatan ruang, mencegah *blocking* pada *taxiway* yang mengganggu operasional MRO, dan mengurangi resiko terjadinya tabrakan antar *wingtip* pada saat terjadi kepadatan di area parkir. Namun, penerapan metode *No-Fit Polygon* (NFP) yang dikembangkan pada penelitian sebelumnya masih menghasilkan pola parkir pesawat yang saling tumpang tindih dan kurang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan metode kombinasi *No-Fit Polygon* untuk mengatasi masalah tersebut. Penelitian ini diawali dengan membuat model grafis pesawat dan membuat NFP antara 2 pesawat menggunakan persamaan geometri berdasarkan data geometri pesawat. NFP yang dihasilkan kemudian dikombinasikan dan kapasitas area parkir dioptimalkan menggunakan *Mixed Integer Linear Programming (MILP)* dengan pemrograman *Python* berdasarkan geometri area parkir pesawat yang digunakan. Hasil optimasi menunjukkan pesawat dengan luas yang lebih kecil dapat ditempatkan dengan jumlah lebih banyak dibandingkan dengan pesawat dengan luas yang lebih besar, sehingga kapasitas area parkir meningkat sebanyak 3.75% dari 8 menjadi 11 pesawat tanpa *safety margin*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode kombinasi NFP dapat digunakan untuk memaksimalkan pemanfaatan area parkir tanpa terjadi tumpang tindih meskipun tanpa penambahan *safety margin*.

**Kata Kunci:** *no-Fit Polygon*, optimasi kapasitas area parkir.

## 1 Latar Belakang

Frekuensi pesawat yang berlebihan dan penempatan yang tidak teratur selama Covid-19 atau *peak season* menyebabkan durasi pemindahan pesawat meningkat dari 1-2 jam menjadi 6 jam per pesawat. Hal ini disebabkan oleh *blocking* pada *taxiway* yang mengganggu operasional *Maintenance, Repair, and Overhaul* (MRO) serta meningkatkan resiko tabrakan antar *wingtip* selama proses pemindahan pesawat. Pada penelitian ini, permasalahan utama muncul ketika pesawat diparkirkan tanpa memperhatikan *safety margin* dan keteraturan terutama saat frekuensi pesawat sangat meningkat. Ditinjau dari kondisi aktual pada tahun 2020, kapasitas maksimal area parkir seluas 18400 m<sup>2</sup> adalah 8 pesawat dengan penempatan yang tidak beraturan. Optimasi kapasitas area parkir

perlu dilakukan untuk membuat penempatan pesawat lebih teratur, mencegah *blocking*, dan mencegah tabrakan antar *wingtip* terutama pada saat terjadi kepadatan di area parkir. Sebelumnya, Qin., et al [1] melakukan penelitian untuk mengoptimalkan pemanfaatan area parkir pesawat dengan menggunakan metode *No-Fit Polygon* (NFP) dan tambahan *safety margin*. Namun setelah dikaji ulang, metode tersebut masih menghasilkan pola area parkir yang saling tumpang tindih dan belum memaksimalkan pemanfaatan area parkir pada permasalahan penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode kombinasi NFP untuk menghasilkan penempatan pesawat yang lebih teratur dan memaksimalkan pemanfaatan area parkir meskipun tanpa *safety margin*, sesuai dengan kondisi aktual selama pandemi Covid-19. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan model optimasi kapasitas area *aircraft parking* dan memastikan bahwa metode kombinasi NFP dapat digunakan untuk mengoptimalkan kapasitas area parkir tanpa terjadinya tumpang tindih pada saat penempatan pesawat meskipun tanpa penambahan *safety margin*.

## 2 Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, diperlukan data geometri pesawat dan area parkir. Penelitian diawali dengan membuat model grafis pesawat menggunakan data geometri pesawat yang dimasukkan ke dalam persamaan geometri sehingga membentuk titik-titik koordinat dari model grafis pesawat. Selanjutnya, NFP dibuat dari model grafis pesawat yang telah dibuat dengan menggunakan persamaan geometri untuk menghasilkan titik koordinat NFP. Optimasi kapasitas area parkir kemudian dilakukan menggunakan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dengan pemrograman *Python*. Metodologi penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

### 2.1 Membuat Model Grafis Pesawat.

Model grafis pesawat menggunakan geometri pesawat Boeing 737-800 dan Airbus A320-200 karena dalam studi kasus ini kedua jenis pesawat tersebut memiliki frekuensi paling banyak di area parkir dibandingkan jenis pesawat lainnya selama pandemi Covid-19[2][3]. Model grafis pada penelitian ini mengacu pada penelitian Qin et al., [5] yang menyatakan bahwa model persegi panjang yang digunakan oleh Zheng et al., [4] tidak dapat mengoptimalkan pemanfaatan hangar, maka digunakan model *non-convex polygon* sebagai model grafis pesawat untuk menyelesaikan masalah penempatan parkir pesawat. Gambar 1 menunjukkan perbedaan antara model persegi panjang dengan model *non-convex polygon* sebuah pesawat yang memiliki titik referensi  $(x_i, y_i)$ . Pembuatan model grafis pesawat dihasilkan dari perhitungan geometri pesawat menggunakan Persamaan (1) sampai Persamaan (14) yang mendefinisikan setiap titik koordinat model grafis pesawat dan dihitung menggunakan pemrograman *python*. Persamaan (1) dan Persamaan (14) merupakan titik (0,0) yang menjadi

titik awal dan akhir model grafis. Persamaan (2) sampai Persamaan (13) menghasilkan titik-titik koordinat yang akan membentuk model grafis pesawat.

$$x_0, y_0 \quad (1)$$

$$x_0 - \frac{w_3}{2}, y_0 \quad (2)$$

$$x_0 - \frac{w_3}{2}, y_0 + h_4 \quad (3)$$

$$x_0 - \frac{w_2}{2}, y_0 + h_4 \quad (4)$$

$$x_0 - \frac{w_2}{2}, y_0 + h_4 + h_3 \quad (5)$$

$$x_0 - \frac{w_1}{2}, y_0 + h_4 + h_3 + h_2 \quad (6)$$

$$x_0 - \frac{w_1}{2}, y_0 + H \quad (7)$$

$$x_0 + \frac{w_1}{2}, y_0 + H \quad (8)$$

$$x_0 + \frac{w_1}{2}, y_0 + h_4 + h_3 + h_2 \quad (9)$$

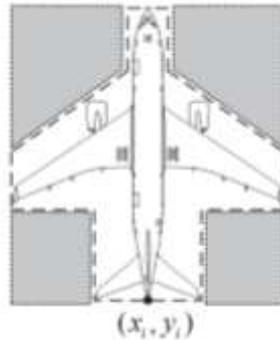
$$x_0 + \frac{w_2}{2}, y_0 + h_4 + h_3 \quad (10)$$

$$x_0 + \frac{w_2}{2}, y_0 + h_4 \quad (11)$$

$$x_0 + \frac{w_3}{2}, y_0 + h_4 \quad (12)$$

$$x_0 + \frac{w_3}{2}, y_0 \quad (13)$$

$$x_0, y_0 \quad (14)$$



Gambar 1 Model grafis pesawat [5]

## 2.2 Membuat *No-Fit Polygon (NFP)* Antar Dua Pesawat

Konsep dasar untuk memperoleh NFP diantara 2 poligon ( $p_i$  dan  $p_j$ ) adalah dengan mengasumsikan poligon  $p_i$  tetap diam dan poligon  $p_j$  relatif bergerak menyusuri poligon yang diam. Penelusuran jalur yang dibentuk oleh titik referensi poligon  $p_j$  pada saat mengelilingi poligon  $p_i$  dengan semua sisi yang saling bersentuhan namun tidak bertumpukan akan membentuk NFP [5]. Agar

tidak terjadi tumpang tindih, titik referensi dari pesawat yang diasumsikan bergerak ( $p_j$ ) harus berada di luar daerah  $NFP_{ij}$  atau tepat pada garis  $NFP_{ij}$  pada saat penempatan pesawat. Sebelum membuat NFP, model grafis area parkir harus terlebih dahulu dibuat dengan titik awal (0,0) dan menempatkan salah satu model grafis pesawat yang menjadi poligon diam pada bagian pojok kiri bawah dari area parkir tanpa melewati batas area parkir. Setelah itu, NFP dibentuk dengan memasukkan geometri pesawat kedalam Persamaan (15) sampai Persamaan (47) dan menghitungnya menggunakan pemrograman *python*. Persamaan (15) sampai Persamaan (47) merupakan persamaan geometri yang akan membentuk titik koordinat kombinasi NFP. Persamaan dibawah akan membentuk NFP antara pesawat yang terakhir kali ditempatkan di area parkir dengan pesawat setelahnya yang akan ditempatkan.

$$x_1 = x_0 - \left( \frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right), y_1 = y_0 - H_l \quad (15)$$

$$x_2 = x_0 + \left( \frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right), y_2 = y_0 - H_l \quad (16)$$

$$x_3 = x_0 + \left( \frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right), y_3 = y_0 - H_l + h_{1l} \quad (17)$$

$$x_4 = x_0 + \left( \frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right) + (h_{4combined} - h_{1l}) \times 0.866, y_4 = y_0 - H_l + h_{4combined} \quad (18)$$

$$x_5 = x_0 + \left( \frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right), y_5 = y_0 - H_l + h_{4combined} \quad (19)$$

$$x_6 = x_0 + \left( \frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right), y_6 = y_0 - H_l + h_{4combined} + h_{3combined} \quad (20)$$

$$x_7 = x_0 + \left( \frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2} \right), y_7 = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} \quad (21)$$

$$x_8 = x_0 + \left( \frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2} \right), y_8 = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} + \left( \frac{w_{2combined} - w_{3combined}}{2} \right) \times 0.5 \quad (22)$$

$$x_9 = x_0 + \left( \frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2} \right), y_9 = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} + h_{4combined} \quad (23)$$

$$x_{10} = x_0 + \left( \frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2} \right), y_{10} = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} + h_{4combined} + h_{3l} + h_{3combined} \quad (24)$$

$$x_{11} = x_0 + \left( \frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{3l}}{2} \right), y_{11} = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} + h_{4combined} + h_{3l} + h_{3combined} + \frac{(w_{2l} - w_{3l})}{0.866} \quad (25)$$

$$x_{12} = x_0 + \left( \frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{3l}}{2} \right), y_{12} = y_0 + h_{4combined} + h_{3combined}$$

(26)

$$x_{13} = x_0 + \left(\frac{w_{1combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2}\right), y_{13} = y_0 + h_{4combined} + h_{3combined} + \left(\frac{w_{2l} - w_{3l}}{2}\right) \times 0.5 \quad (27)$$

$$x_{14} = x_0 + \left(\frac{w_{1combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2}\right), y_{14} = y_0 + H_{combined} - h_{4l} \quad (28)$$

$$x_{15} = x_0 + \left(\frac{w_{2combined}}{2}\right), y_{15} = y_0 + H_{combined} - h_{4l} \quad (29)$$

$$x_{16} = x_0 + \left(\frac{w_{1combined}}{2} + \frac{w_{3l}}{2}\right), y_{16} = y_0 + H_{combined} - h_{1combined} \quad (30)$$

$$x_{17} = x_0 + \left(\frac{w_{1combined}}{2} + \frac{w_{3l}}{2}\right), y_{17} = y_0 + H_{combined} \quad (31)$$

$$x_{18} = x_0 - \left(\frac{w_{1combined}}{2} + \frac{w_{3l}}{2}\right), y_{18} = y_0 + H_{combined} \quad (32)$$

$$x_{19} = x_0 - \left(\frac{w_{1combined}}{2} + \frac{w_{3l}}{2}\right), y_{19} = y_0 + H_{combined} - h_{1combined} \quad (33)$$

$$x_{20} = x_0 - \left(\frac{w_{2combined}}{2}\right), y_{20} = y_0 + H_{combined} - h_{4l} \quad (34)$$

$$x_{21} = x_0 - \left(\frac{w_{1combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2}\right), y_{21} = y_0 + H_{combined} - h_{4l} \quad (35)$$

$$x_{22} = x_0 - \left(\frac{w_{1combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2}\right), y_{22} = y_0 + h_{4combined} + h_{3combined} + \left(\frac{w_{2l} - w_{3l}}{2}\right) \times 0.5 \quad (36)$$

$$x_{23} = x_0 - \left(\frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{3l}}{2}\right), y_{23} = y_0 + h_{4combined} + h_{3combined} \quad (37)$$

$$x_{24} = x_0 - \left(\frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{3l}}{2}\right), y_{24} = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} + \frac{h_{4combined} + h_{3l} + h_{3combined} + \left(\frac{w_{2l} - w_{3l}}{2}\right)}{0.866} \quad (38)$$

$$x_{25} = x_0 - \left(\frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2}\right), y_{25} = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} + \frac{h_{4combined} + h_{3l} + h_{3combined}}{0.866} \quad (39)$$

$$x_{26} = x_0 - \left(\frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2}\right), y_{26} = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} + \frac{h_{4combined}}{0.866} \quad (40)$$

$$x_{27} = x_0 - \left(\frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2}\right), y_{27} = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} + \left(\frac{w_{2combined} - w_{3combined}}{2}\right) \times 0.5 \quad (41)$$

$$x_{28} = x_0 - \left(\frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{2l}}{2}\right), y_{29} = y_0 - H_l + h_{1l} + h_{2l} \quad (42)$$

$$x_{29} = x_0 - \left(\frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2}\right), y_{29} = y_0 - H_l + h_{4combined} + h_{3combined} \quad (43)$$

$$x_{30} = x_0 - \left( \frac{w_{2combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right), y_{30} = y_0 - H_l + h_{4combined} \quad (44)$$

$$x_{31} = x_0 - \left( \frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right) - (h_{4combined} - h_{1l}) \times 0.866, y_{31} = y_0 - H_l + h_{4combined} \quad (45)$$

$$x_{32} = x_0 - \left( \frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right), y_{32} = y_0 - H_l + h_{1l} \quad (46)$$

$$x_{34} = x_0 - \left( \frac{w_{3combined}}{2} + \frac{w_{1l}}{2} \right), y_{34} = y_2 - H_l \quad (47)$$

### 2.3 Membuat Model Kapasitas Area Aircraft Storage

Kapasitas *aircraft parking* diformulasikan menggunakan Persamaan (48) untuk mengetahui jumlah maksimal pesawat yang dapat diparkir pada area yang sudah ditentukan dengan metode kombinasi NFP. Program akan menempatkan pesawat pada titik NFP total hasil dari perhitungan Persamaan (48) dan memastikan tidak ada penempatan pada titik koordinat NFP yang berpotensi menyebabkan tumpang tindih. Penelitian ini mengacu pada penelitian Qin et al., [1] yang menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (49) untuk menyelesaikan permasalahan pemanfaatan hangar. Sementara fungsi kendala (Persamaan (50) sampai Persamaan (52)) pada penelitian ini membatasi pesawat agar tidak ditempatkan melewati batas area parkir. Selain itu, pesawat tidak diperbolehkan untuk ditempatkan pada titik-titik kombinasi NFP yang beririsan dan berada di dalam poligon NFP untuk mencegah terjadinya tumpang tindih.

$$NFP_{total} = \sum_{i=1}^n NFP_i - NFP_n \cap NFP_{(n-1)} \quad (48)$$

$$HangarArea - \sum_{i=1}^p v_i z_i \quad (49)$$

$$x_i + \frac{w_i}{2} \leq L \quad (50)$$

$$x_i \geq \frac{w_i}{2} \quad (51)$$

$$y_i + h_i \leq H \quad (52)$$

dimana:

$L$	Lebar pesawat (m)
$H$	Tinggi pesawat (m)
$w_1$	Lebar bagian ke-1 pesawat ( <i>nose</i> )(m)
$w_2$	Lebar bagian ke-2 pesawat ( <i>wings</i> )(m)
$w_3$	Lebar bagian ke-3 pesawat ( <i>tail</i> )(m)
$h_1$	Panjang bagian ke-1 pesawat ( <i>nose</i> )(m)
$h_2$	Panjang bagian ke-2 pesawat ( <i>wings</i> )(m)
$h_3$	Panjang bagian ke-3 pesawat ( <i>wing tip</i> )(m)
$h_4$	Panjang bagian ke-4 pesawat ( <i>tail</i> )(m)

$i$	NFP ke -
$x_0, y_0$	Titik koordinat (0,0)
$x, y$	Titik koordinat kombinasi NFP
$w_{1combined}$	Lebar bagian ke-1 pesawat terakhir yang dikombinasikan ( <i>nose</i> )(m)
$w_{2combined}$	Lebar bagian ke-2 pesawat terakhir yang dikombinasikan ( <i>wings</i> )(m)
$w_{3combined}$	Lebar bagian ke-3 pesawat terakhir yang dikombinasikan ( <i>tail</i> )(m)
$h_{1combined}$	Panjang bagian ke-1 pesawat terakhir yang dikombinasikan ( <i>nose</i> )(m)
$h_{2combined}$	Panjang bagian ke-2 pesawat terakhir yang dikombinasikan ( <i>wings</i> )(m)
$h_{3combined}$	Panjang bagian ke-3 pesawat terakhir yang dikombinasikan ( <i>wing tip</i> )(m)
$h_{4combined}$	Panjang bagian ke-4 pesawat terakhir yang dikombinasikan ( <i>tail</i> )(m)
$w_{1l}$	Lebar bagian ke-1 pesawat baru yang akan dikombinasikan ( <i>nose</i> )(m)
$w_{2l}$	Lebar bagian ke-2 pesawat baru yang akan dikombinasikan ( <i>wings</i> )(m)
$w_{3l}$	Lebar bagian ke-3 pesawat baru yang akan dikombinasikan ( <i>tail</i> )(m)
$h_{1l}$	Panjang bagian ke-1 pesawat baru yang akan dikombinasikan ( <i>nose</i> )(m)
$h_{2l}$	Panjang bagian ke-2 pesawat baru yang akan dikombinasikan ( <i>wings</i> )(m)
$h_{3l}$	Panjang bagian ke-3 pesawat baru yang akan dikombinasikan ( <i>wing tip</i> )(m)
$h_{4l}$	Panjang bagian ke-4 pesawat baru yang akan dikombinasikan ( <i>tail</i> )(m)

## 2.4 Validasi Hasil Perhitungan Model Matematis Kapasitas Area Parkir

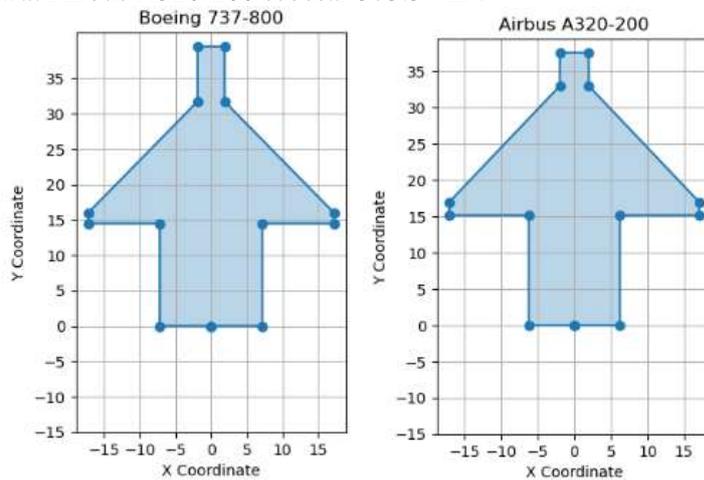
Validasi hasil perhitungan dilakukan dengan menggunakan gambaran kapasitas yang dibuat dengan menggunakan *plot* dari pemrograman *python* untuk memastikan bahwa fungsi kendala yang diaplikasikan pada optimasi kapasitas berfungsi dengan baik dan jumlah pesawat di dalam model grafis area parkir yang sudah ditentukan sesuai dengan hasil perhitungan. Penelitian ini memposisikan

pesawat terparkir dengan posisi seri atau parallel dengan menghadap ke satu arah karena dapat menampung lebih banyak pesawat dalam suatu area jika dibandingkan penempatan pesawat dengan posisi menyerong[6]. Jika jumlah pesawat yang dihasilkan pada *plot* tidak sesuai kapasitas area parkir dan penempatan pesawat masih mengalami tumpang tindih atau keluar dari batas area parkir, maka fungsi kendala yang sudah diaplikasikan harus dikoreksi.

### 3 Hasil Penelitian

#### 3.1 Model Grafis Area *Aircraft Parking* dan Pesawat

Gambar 2 merupakan model grafis pesawat Boeing 737-800 dan Airbus A320-200 dengan menggunakan model *non-convex polygon*. Luas model grafis pesawat kemudian dihitung secara otomatis berdasarkan titik-titik koordinat yang sudah dihitung dan didapatkan hasil luas pesawat Boeing 737-800 sebesar 588.4 m<sup>2</sup> dan luas pesawat Airbus A320-200 sebesar 573.34 m<sup>2</sup>.

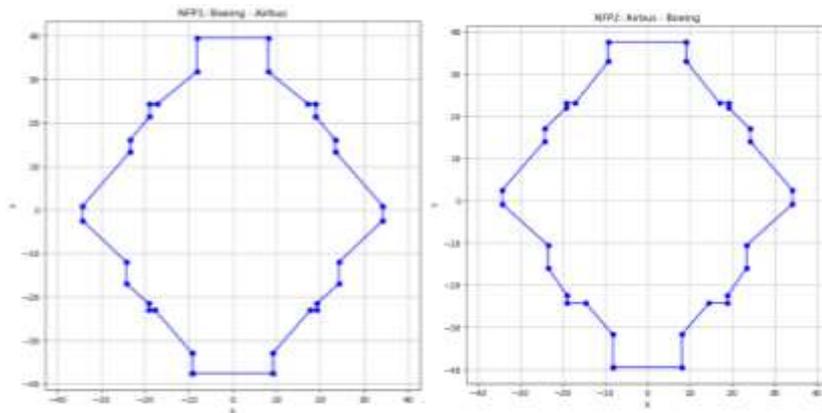


Gambar 2 Model grafis pesawat Boeing 737-800 dan Airbus A320-200

#### 3.2 NFP Antar Dua Pesawat

NFP antar dua pesawat dibentuk dari persamaan yang sudah dijelaskan sebelumnya. “combined\_vars” mewakili pesawat yang relatif diam dan “l\_vars” mewakili pesawat yang relatif bergerak menyusuri pesawat yang diam.

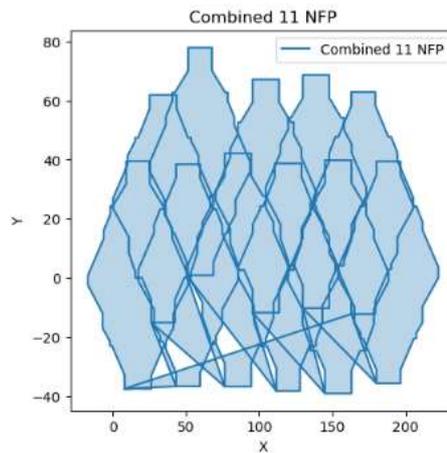
Gambar 3 merupakan NFP antara dua pesawat dimana (a) merupakan NFP dengan pesawat Boeing sebagai pesawat statis atau relatif diam dan pesawat Airbus sebagai pesawat yang relatif bergerak sedangkan (b) merupakan NFP dengan pesawat Airbus sebagai pesawat yang relatif diam dan pesawat Boeing sebagai pesawat yang relatif bergerak.



**Gambar 3** NFP antara 2 pesawat, pesawat Boeing – Airbus dan pesawat Airbus – Boeing

### 3.3 Model Kapasitas *Aircraft Parking*

Jenis pesawat yang akan ditempatkan di area parkir dipilih secara acak oleh program. Setelah itu NFP akan aktif dan program akan menentukan *best point* atau salah satu titik dari titik-titik NFP yang aktif sebagai titik untuk penempatan pesawat yang baru. Untuk penempatan pesawat ketiga dan seterusnya, NFP-NFP dari pesawat pesawat yang sudah ditempatkan terlebih dahulu akan dikombinasikan dan titik-titik yang berada di dalam poligon NFP akan dieliminasi sehingga program tidak akan menempatkan pesawat baru pada titik-titik yang berada di dalam NFP untuk mencegah terjadinya tumpang tindih atau *overlapping* seperti pada Gambar 4. Gambar 5 merupakan validasi dari hasil perhitungan kapasitas area parkir.



**Gambar 4** Kombinasi 11 NFP



hingga 73.3%. Plot hasil kombinasi NFP juga menunjukkan bahwa penempatan pesawat bebas dari tumpang tindih meskipun tanpa tambahan *safety margin*, menjadikan metode ini jauh lebih aman jika diterapkan dengan memperhatikan *safety margin*.

## 6 Referensi

- [1] Qin, Y., Chan, F. T. S., Chung, S. H., Qu, T., Wang, X. P. & Ruan, J. H., *MIP models for the hangar space utilization problem with safety consideration*, Proc. World Congr. Mech. Chem. Mater. Eng., pp. 1–9, doi: 10.11159/icmie17.101, 2017.
- [2] Boeing, *Next-Generation 737: Airplane Characteristics for Airport Planning*, March. 2023.
- [3] Airbus, *Airbus A320: Aircraft Characteristic - Airport and Maintenance Planning*, 2020.
- [4] Zheng, S., Yang, Z., He, Z., Wang, N., Chu, C. & Yu, H., *Hybrid simulated annealing and reduced variable neighbourhood search for an aircraft scheduling and parking problem*, *Int. J. Prod. Res.*, **58**(9), pp. 2626–2646, doi: 10.1080/00207543.2019.1629663, 2020.
- [5] Qin, Y., Zhang, J. H., Chan, F. T. S., Chung, S.H., Niu, B. & Qu, T., *A two-stage optimization approach for aircraft hangar maintenance planning and staff assignment problems under MRO outsourcing mode*, *Comput. Ind. Eng.*, **146**, doi: 10.1016/j.cie.2020.106607, 2020.
- [6] Lefrandt, A. A. V. Paendong, L. I. R. & Rumayar, A. L. E., *Analisis Kapasitas Dan Optimalisasi Apron Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado*, *Sipil Statik*, **8**(2), pp. 175–182, 2020.