

PENGEMBANGAN AWAL ALGORITMA PROGRAM ANALISIS PERFORMA LANDASAN PACU TERHADAP BERAT *TAKE-OFF* PESAWAT

Gladis Tiara Andan Dewi¹, Muhammad Ridlo Erdata Nasution², Gunawan³

¹²³Program Studi Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Indonesia
mrenasution@itda.ac.id²

Abstract

Algorithm development of a program to analyze runway performance against take-off weight is performed for facilitating an analysis for a general airport. In this regard, ACN-PCN as well as ARFL methods are utilized in the construction of the algorithm. The algorithm is then implemented in a program code written in the framework of GNU Octave, and tested by using data from Depati Amir Airport and three different types of aircrafts, viz. ATR 72, Boeing 737-800, and Boeing 777-300ER. Based on the obtained results, the program can successfully perform an analysis of take-off operation performance and is able to indicate the presence of operational limits of the three types of aircrafts in relation to the runway condition of the reference airport.

Keywords: ACN-PCN, ARFL, take-off weight

1. Pendahuluan

Pengelola bandar udara di Indonesia seringkali melakukan pengembangan dan pembangunan bandar udara untuk dapat memfasilitasi peningkatan jumlah penumpang yang terus terjadi setiap tahunnya. Dengan adanya proses pengembangan dan pembangunan sebuah bandar udara tentunya perlu dilakukan analisis mengenai kemampuan dari landasan pacu untuk menahan beban ketika pesawat melakukan pergerakan di landasan. Untuk dapat mengetahui kemampuan suatu landasan terutama dari segi kekerasan dan juga panjang landasan, metode ACN-PCN dan ARFL banyak digunakan. Beberapa riset yang menggunakan salah satu ataupun kedua metode tersebut antara lain dapat dilihat pada Ref. [1 – 4]. Pada keempat publikasi tersebut, fokus penelitian merupakan suatu bandar udara tertentu. Adapun outputnya merupakan hasil analisis berupa angka yang dapat dijadikan acuan untuk dapat menentukan apakah kondisi landasan pacu *existing* telah memenuhi syarat untuk dapat mengoperasikan pesawat tertentu.

Pada artikel ini, dilakukan suatu pengembangan algoritma program analisis performa landasan pacu terhadap berat *take-off* pesawat. Program dirancang untuk dapat memfasilitasi analisis pada bandar udara secara umum dengan menggunakan input berupa kondisi bandar udara dan landasan pacu serta beberapa parameter dari pesawat berupa berat pesawat, ACN, dan ARFL. Algoritma dirancang agar dapat memfasilitasi ‘*database*’ pesawat yang akan dianalisis kelaikan *take-off*-nya pada suatu bandar udara. Dengan kata lain, program dirancang untuk dapat melakukan analisis pada beberapa pesawat sekaligus dengan sebuah perintah. Untuk dapat memudahkan dalam pembacaan hasil, hubungan antara berat *take-off* pesawat terhadap PCN serta panjang landasan disajikan dalam bentuk kurva. Penyajian dengan kurva sejenis dapat dilihat pada Ref. [5]. Adapun referensi tersebut hanya menyajikan berat *take-off* terhadap PCN. Pada artikel ini, selain PCN, hubungan antara berat *take-off* khususnya MTOW terhadap panjang landasan juga diikutsertakan untuk dapat memudahkan pembacaan hasil. Dengan pengembangan awal algoritma ini diharapkan dapat menghasilkan suatu program yang dapat memudahkan analisis kemampuan pengoperasian *take-off* pesawat termasuk mengetahui ada tidaknya batasan operasi terhadap kondisi landasan pada suatu bandar udara.

2. Metode

a. Metode ACN-PCN

ACN (*aircraft classification number*) merupakan nilai yang menunjukkan klasifikasi pesawat udara berdasarkan efek relatifnya di atas *pavement* dengan *sub-grade* tertentu, adapun nilai PCN (*pavement classification number*) merepresentasikan daya dukung perkerasan *pavement* sehingga pesawat udara dengan nilai ACN kurang dari atau sama dengan nilai tersebut dapat beroperasi secara tak terbatas [6]. Pada metode ACN-PCN, hubungan antara ACN, PCN, dan berat *take-off* pesawat udara yang diizinkan dapat dinyatakan sebagai berikut [2, 4, 7]:

$$W_{TO} = W_{\min} + (W_{\max} - W_{\min}) \left(\frac{PCN - ACN_{\min}}{ACN_{\max} - ACN_{\min}} \right) \quad (1)$$

dimana W_{TO} merupakan berat *take-off* pesawat yang diizinkan, W_{\min} dan W_{\max} masing-masing menunjukkan *operating empty weight* (OEW) dan *maximum apron weight* (MAW). Adapun data nilai ACN_{\min} dan ACN_{\max} dapat diperoleh pada Ref. [6].

Persamaan (1) digunakan pada algoritma program untuk menunjukkan hubungan antara W_{TO} dengan PCN. Dalam hal ini W_{TO} akan dinyatakan sebagai fungsi dari PCN. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan kurva yang dapat sekaligus mengevaluasi kelayakan *take-off* pesawat udara dengan kondisi *pavement* yang sudah ada, serta memungkinkan untuk dengan mudah menentukan perubahan nilai perkerasan pada landasan apabila kondisi saat ini belum memungkinkan pesawat udara beroperasi dengan berat yang diinginkan.

b. Metode ARFL

ARFL (*aeroplane reference field length*) merupakan panjang minimum suatu landasan pacu yang diperlukan untuk *take-off* pada kondisi MTOW, *sea-level*, kondisi atmosfer standar, udara diam, dan kemiringan landasan pacu nol [6, 8]. Pada operasional suatu pesawat udara, ARFL yang merupakan nilai dari pabrikan ataupun otoritas yang melakukan suatu sertifikasi perlu dikoreksi berdasarkan ketinggian bandar udara, temperatur, dan juga kemiringan landasan. Nilai ARFL yang telah dikoreksi akan dijadikan pedoman sebagai panjang minimum landasan agar pesawat dapat *take-off* dengan MTOW-nya. Perhitungan dan koreksi tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut [1, 3, 4]:

$$RLC = ARFL(Fe)(Ft)(Fs) \quad (2)$$

dimana RLC merupakan panjang landasan terkoreksi, serta Fe , Ft , dan Fs masing-masing adalah faktor koreksi ketinggian landasan, temperatur, dan kemiringan landasan. Ketiga faktor koreksi tersebut dapat dihitung dengan menggunakan beberapa persamaan berikut:

$$Fe = 1 + 0.07 \left(\frac{h}{300} \right) \quad (3)$$

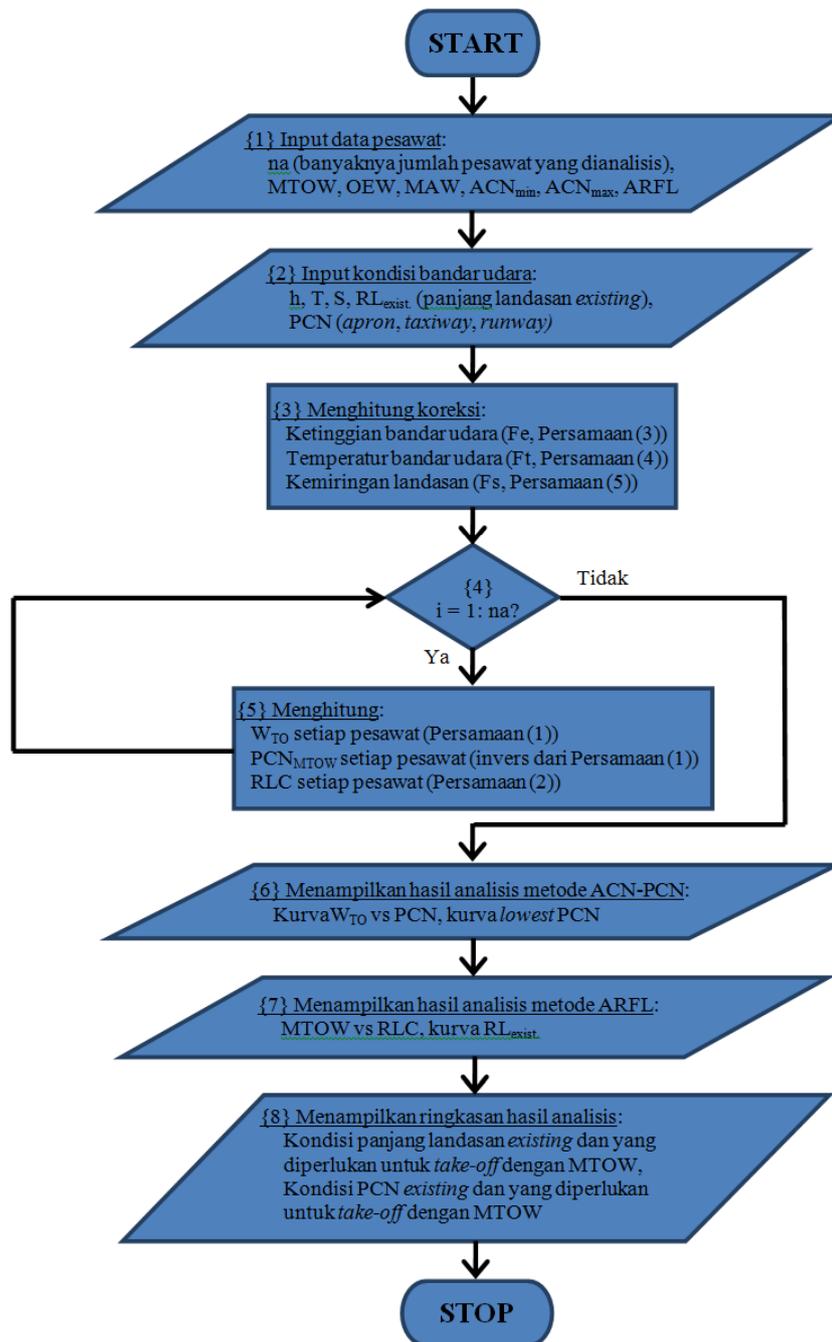
$$Ft = 1 + 0.01(T - (15 - 0.0065h)) \quad (4)$$

$$Fs = 1 + 0.1S \quad (5)$$

Pada Persamaan (3) – (5), h merupakan ketinggian landasan (m), T adalah temperatur bandar udara ($^{\circ}\text{C}$), dan S merupakan kemiringan landasan (%). Data-data tersebut merupakan data spesifik dari tiap landasan pada bandar udara yang akan dianalisis. Adapun data nilai ARFL pada setiap pesawat dapat diperoleh pada Ref. [6].

c. Algoritma

Algoritma program analisis performa landasan pacu terhadap berat *take-off* pesawat dikembangkan dengan menggunakan kedua metode di atas, yaitu ACN-PCN dan ARFL. Program dirancang untuk dapat menganalisis hubungan antara berat *take-off* pesawat udara yang diizinkan pada suatu bandar udara secara umum dalam kaitannya dengan PCN, serta mempertimbangkan panjang landasan pacu terhadap MTOW pesawat. Secara garis besar, algoritma dibagi menjadi tiga bagian, yaitu input, proses, dan output yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Algoritma program

Pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa terdapat dua proses input berdasarkan data dari pesawat (langkah {1}) dan bandar udara (langkah {2}). Input pada langkah {1} disimpan dalam bentuk larik (*array*) untuk dapat melakukan penyimpanan data setiap pesawat. Pada langkah {3}, ketiga faktor koreksi yang akan digunakan pada metode ARFL dapat dihitung terlebih dahulu. Pada langkah {4}, belah ketupat menunjukkan bahwa terdapat algoritma perulangan dimana langkah {5} akan dilakukan pada masing-masing pesawat yang dimasukkan pada 'database'. Dalam proses perhitungan, masing-masing persamaan yang telah diberikan pada bab sebelumnya (Persamaan (1) – (5)) digunakan pada langkah {3} dan {5}. Perlu dititikberatkan di sini bahwa pada langkah {5}, perhitungan pada program menggunakan *array* untuk dapat memfasilitasi penyimpanan hasil perhitungan untuk setiap pesawat. Setelah selesai melakukan perhitungan dengan metode ACN-PCN serta ARFL, proses output disajikan pada langkah {6} – {8}. Dalam hal ini, kedua kurva yang dihasilkan pada langkah {6} dan {7} akan digabungkan dalam satu gambar yang sama dengan dua sumbu vertikal berbeda.

3. Hasil dan Analisis

Algoritma yang telah dirancang kemudian diaplikasikan dalam bahasa pemrograman yang ditulis dalam m-file. Selanjutnya kode program dieksekusi dengan menggunakan *GNU Octave*. Sebagai input, pada artikel ini digunakan data bandar udara Depati Amir serta tiga jenis pesawat berbeda, yaitu ATR 72, Boeing 737-800, dan Boeing 777-300ER. Input data pesawat dan bandar udara/landasan pacu masing-masing dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Input data pesawat udara [6, 9]

Pesawat Udara	MTOW (kgs)	OEW (kgs)	MAW (kgs)	ACN _{max}	ACN _{min}	ARFL (m)
ATR 72	21500	12200	21530	12	6	1220
Boeing 737-800	70535	43459	79243	45	23	2256
Boeing 777-300ER	299370	167829	341100	69	25	3300

Tabel 2. Input data bandar udara [10 – 12]

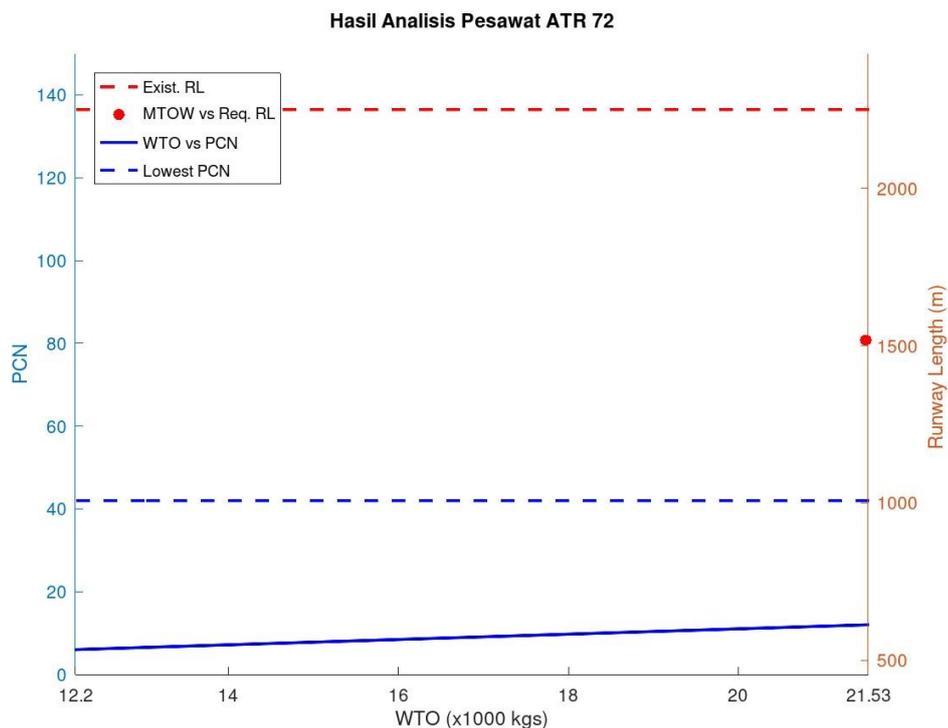
h (m)	T (°C)	S (%)	RL_{exist} (m)	PCN <i>Apron</i>	PCN <i>Taxiway</i>	PCN <i>Runway</i>
33	27	1	2250	65/F/B/W/T	42/F/B/W/T	65/F/B/W/T

Hasil analisis dalam bentuk plot kurva dari ketiga pesawat yang dianalisis diberikan pada Gambar 2 - 4. Pada gambar-gambar tersebut, terdapat dua buah sumbu vertikal berbeda. Sumbu vertikal di sebelah kiri merepresentasikan nilai PCN, adapun sumbu vertikal di sebelah kanan menunjukkan nilai panjang landasan pacu. Untuk kemudahan analisis dan pembacaan hasil, kedua sumbu vertikal diberi warna berbeda (biru dan merah), dan plot kurva yang berkenaan dengan masing-masing sumbu diberi warna yang sesuai. Dalam hal ini, kurva W_{TO} vs PCN dan lowest PCN (PCN *taxiway*) berwarna biru, sedangkan plot MTOW vs RLC (RL *required*/panjang landasan yang dibutuhkan untuk *take-off* dalam kondisi MTOW) serta panjang landasan *existing* berwarna merah. Untuk sumbu horizontal, data yang ditunjukkan adalah berat *take-off* pesawat (W_{TO}) dimana batas kiri dan kanan sumbu masing-masing adalah *operating empty weight* (OEW) dan *maximum apron weight* (MAW). Sebagai

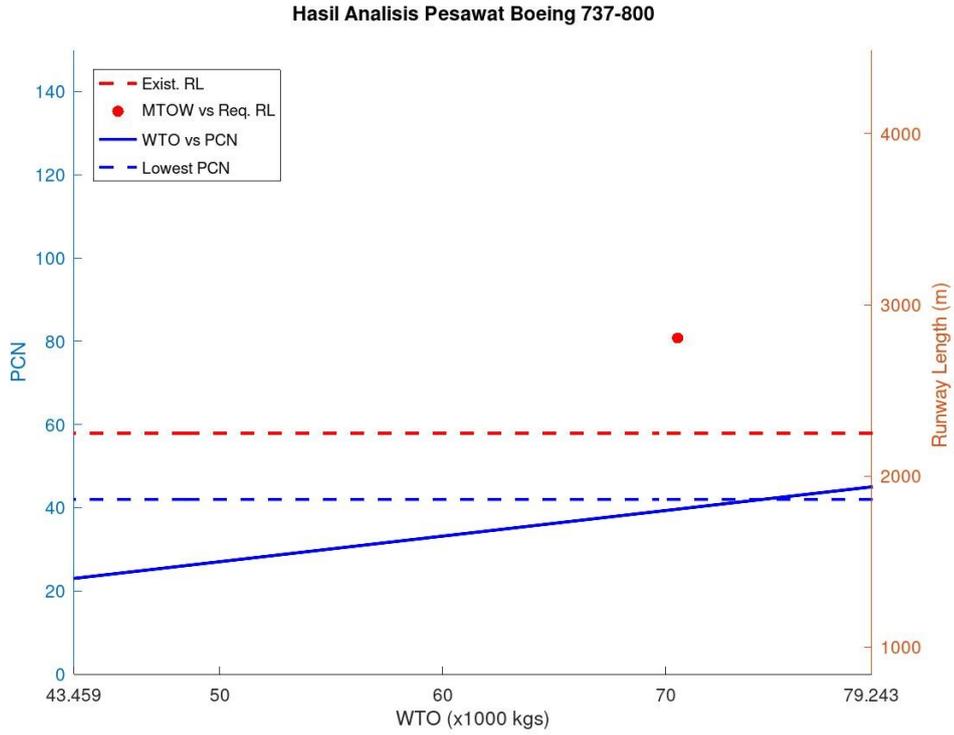
tambahan, untuk memudahkan dalam melihat hasil analisis khususnya yang berkaitan dengan *take-off* pada kondisi MTOW, ringkasan hasil diberikan pada Gambar 5.

Pada Gambar 2, hasil analisis pesawat ATR 72 dari segi PCN menunjukkan bahwa pesawat dapat beroperasi hingga berat maksimumnya. Hal ini ditunjukkan dengan garis putus-putus biru yang menunjukkan nilai PCN terendah bandar udara yang selalu berada di atas kurva W_{TO} vs PCN. Selain itu, ditinjau dari segi panjang landasan, panjang landasan *existing* juga berada di atas nilai yang dibutuhkan untuk *take-off* dengan kondisi MTOW.

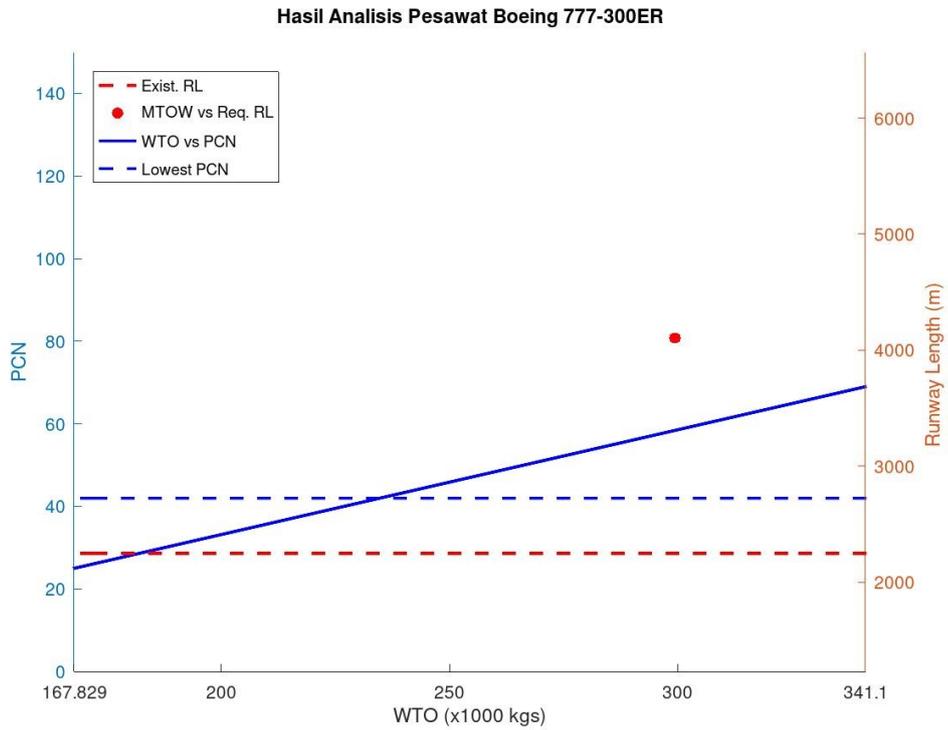
Pada Gambar 3 dan 4, hasil analisis pada pesawat Boeing 737-800 dan Boeing 777-300ER menunjukkan bahwa keduanya tidak dapat beroperasi secara maksimum. Hal ini dapat langsung terlihat dari hasil plot MTOW vs *RLC* yang berada di atas panjang runway *existing*. Adapun dari segi PCN, hasil analisis menunjukkan adanya perpotongan antara kurva W_{TO} vs PCN dengan garis konstan PCN terendah bandar udara. Hal ini menunjukkan bahwa pesawat tidak dapat beroperasi dengan berat MAW-nya. Khusus pada Boeing 737-800, terlihat bahwa PCN bandar udara memenuhi kriteria untuk *take-off* dengan MTOW. Akan tetapi, apabila merujuk pada nilai MTOW yang dikeluarkan oleh pabrikan [13], terdapat beberapa variasi nilai yang perlu dipertimbangkan untuk dilakukan analisis lebih lanjut dalam penentuan kemampuan PCN *existing*. Sebagai catatan tambahan, analisis panjang landasan pada pengembangan awal algoritma ini hanya mempertimbangkan berat MTOW, sehingga meskipun terdapat hasil yang menunjukkan bahwa pesawat dapat beroperasi dalam batas tertentu apabila ditinjau dari segi PCN seperti yang terlihat pada hasil dari Boeing 777-300ER, tetap diperlukan analisis penentuan panjang landasan secara lebih lanjut.



Gambar 2. Hasil analisis pesawat ATR 72



Gambar 3. Hasil analisis pesawat Boeing 737-800



Gambar 4. Hasil analisis pesawat Boeing 777-300ER

```

Command Window
1. Pesawat ATR 72
   Panjang runway existing = 2250 meter
   Panjang runway untuk take-off dengan MTOW = 1517.51 meter
   Kekurangan panjang runway untuk take-off dengan MTOW = 0 meter
   PCN existing terendah = 42
   PCN untuk take-off dengan MTOW = 11.9807

2. Pesawat Boeing 737-800
   Panjang runway existing = 2250 meter
   Panjang runway untuk take-off dengan MTOW = 2806.16 meter
   Kekurangan panjang runway untuk take-off dengan MTOW = 556.157 meter
   PCN existing terendah = 42
   PCN untuk take-off dengan MTOW = 39.6463

3. Pesawat Boeing 777-300ER
   Panjang runway existing = 2250 meter
   Panjang runway untuk take-off dengan MTOW = 4104.75 meter
   Kekurangan panjang runway untuk take-off dengan MTOW = 1854.75 meter
   PCN existing terendah = 42
   PCN untuk take-off dengan MTOW = 58.4032

```

Gambar 5. Ringkasan hasil analisis ketiga pesawat

Dalam hal pesawat tidak dapat beroperasi secara maksimum dari segi analisis PCN yang ditunjukkan dengan adanya perpotongan kedua garis berwarna biru seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan 4, posisi perpotongan tersebut dapat mendukung analisis menunjukkan kelayakan operasi secara ekonomi. Pada Gambar 3, perpotongan pada hasil analisis Boeing 737-800 berada di dekat MAW. Hal berbeda diperoleh pada hasil dari Boeing 777-300ER dimana posisi perpotongan berada kurang dari setengah antara selisih MAW dan OEW. Hal ini memiliki konsekuensi terhadap berat *payload* dan bahan bakar yang dapat dibawa oleh pesawat.

4. Kesimpulan

Algoritma program analisis performa landasan pacu terhadap berat *take-off* pesawat ini dirancang untuk dapat memfasilitasi analisis pada bandar udara secara umum serta menganalisis beberapa pesawat sekaligus. Metode yang digunakan adalah ACN-PCN serta metode ARFL. Output yang dihasilkan berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara berat *take-off* pesawat terhadap PCN serta panjang landasan. Program diuji untuk dijalankan dengan menggunakan data bandar udara Depati Amir serta tiga jenis pesawat berbeda, yaitu ATR 72, Boeing 737-800, dan Boeing 777-300ER. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat dengan jelas ditunjukkan bahwa, pada landasan pacu bandar udara Depati Amir, ATR 72 dapat beroperasi dengan berat maksimum, sedangkan Boeing 737-800 dan Boeing 777-300ER dapat beroperasi dengan syarat atau batasan tertentu (dalam hal ini tidak dapat lepas landas dengan MTOW). Pada kasus dimana hasil mengindikasikan adanya batasan berat pesawat untuk *take-off*, maka diperlukan analisis lebih lanjut terutama terkait dengan penentuan panjang landasan yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dengan ini dapat disimpulkan bahwa program dapat memudahkan analisis kemampuan pengoperasian *take-off* pesawat termasuk membedakan batasan-batasan operasional pesawat terhadap kondisi landasan pada suatu bandar udara. Program ini direncanakan untuk dapat dikembangkan lebih lanjut dalam analisis yang lebih kompleks termasuk mempertimbangkan batasan ACN terkait dengan kondisi landasan, penambahan analisis panjang landasan terhadap variasi berat *take-off*, ataupun studi sensitivitas antara input dan output program yang telah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sandhyavitri and F. Fansyuri, "Evaluation and Projection of Airport Landing Movement Areas based on Statistical Analyses, ICAO 2013 Manuals and KM 44, 2002 Regulation," *JIT Journal of Innovation and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 59 - 64, Oct. 2020.
- [2] A. Mulasari, "Beban Ijin Total Pesawat (Pta) Dari Nilai PCN (Pavement Classification Number) Di Bandara Kuala Namu Medan," *Jurnal Penelitian Perhubungan Udara Warta Ardhia*, vol. 38, no. 1, pp. 29 - 43, 2012.
- [3] Hartono, D. Kusumoaji, A. Aziz, and M. Rusmin, "Perhitungan Aerodrome Reference Code (ARC) pada Rumpin Airfield, Berdasarkan Regulasi International Civil Aviation Organization (ICAO)," *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, vol. 6, no. 2, pp. 24 - 28, 2020.
- [4] M.S. Megananda, "Analisis Uji Kelayakan Runway Dalam Operasional Pesawat Airbus A330-900 Untuk Penerbangan Umrah Maskapai Lion Air di Bandar Udara Internasional Adi Soemarmo Surakarta," *Skripsi, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto*, 2019.
- [5] US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, "Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN," *Advisory Circular*, Jul. 1983.
- [6] Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kementerian Perhubungan, "Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil – Bagian 139 (Manual of Standard CASR – Part I) Volume I Bandar Udara (Aerodromes)," *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 39 Tahun 2015*, Jan. 2015.
- [7] Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kementerian Perhubungan, "Pedoman Teknis Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139-24 (Advisory Circular CASR Part 139-24), Pedoman Perhitungan PCN (Pavement Classification Number) Perkerasan Prasarana Bandar Udara," *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 93 Tahun 2015*, Mar. 2015.
- [8] European Aviation Safety Agency, "Certification Specifications (CS) and Guidance Material (GM) for Aerodrome Design CS-ADR-DSN," Feb. 2014.
- [9] atr-aircraft.com, Brochure Booklet ATR Family, <https://www.atr-aircraft.com/wp-content/uploads/2020/07/72-210.pdf>, [diakses pada 26 April 2022]
- [10] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Pusat Meteorologi Penerbangan, <http://aviation.bmkg.go.id/web/observation.php>
- [11] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Pusat Meteorologi Penerbangan, <http://aviation.bmkg.go.id/web/station.php?c=ID&pn=1>, [diakses pada 28 April 2022]
- [12] Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kementerian Perhubungan, <http://hubud.dephub.go.id/hubud/website/BandaraDetail.php?id=23>, [diakses pada 28 April 2022]
- [13] Boeing Commercial Airplanes, "737 Airplane Characteristics for Airport Planning," Sep. 2013.