

Analisis Konektivitas Transportasi Udara Antar Ibukota Provinsi di Indonesia Akibat Pandemi Covid-19

Udyani Salma Widyaswari dan Ervina Ahyudanari
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ervina@ce.its.ac.id

Abstrak—Perkuatan konektivitas transportasi dibutuhkan untuk meningkatkan akses masyarakat seluruh Indonesia yang merupakan negara kepulauan, sehingga produktivitas dan daya saing dapat meningkat serta merata. Sejak Maret 2020, penerbangan menjadi salah satu sektor yang terdampak Covid-19 yang mendorong diterapkannya berbagai kebijakan untuk mengurangi penyebaran virus. Penurunan penerbangan dapat berdampak pada perusahaan pengelola bandara dan maskapai penerbangan, seperti berkurangnya pendapatan yang dapat berpengaruh pada dana pemeliharaan. Tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisis tingkat indeks konektivitas transportasi udara antar ibukota provinsi di Indonesia saat terdampak pandemi Covid-19. Analisis tingkat konektivitas dilakukan dengan *Graph Theory*, menggunakan data sekunder berupa daftar bandara dan pergerakannya serta data pembandingan. Data pergerakan direpresentasikan dalam grafik model jaringan dan matriks konektivitas. Kemudian dihitung indeks konektivitas yang ditunjukkan oleh indeks alfa, indeks beta, dan indeks gama. Dilakukan juga analisis perubahan pendapatan bandara saat Covid-19. Dari hasil pembuatan matriks konektivitas yang meninjau penerbangan langsung, didapatkan mayoritas perubahan tingkat konektivitas saat Covid-19 merupakan penurunan dan penurunan terbesar adalah 78% pada Bandar Udara Sultan Thaha. Sementara itu, berdasarkan *Graph Theory* yang meninjau penerbangan langsung dan tidak langsung, didapatkan indeks konektivitas terbesar pada Bandar Udara Internasional Juanda yaitu indeks alfa 0,857, indeks beta 2,559, dan indeks gama 0,906. Mayoritas perubahan saat Covid-19 merupakan penurunan dan penurunan terbesar terjadi pada Bandar Udara Rendani yaitu indeks alfa 119,4%, indeks beta 57,8%, dan indeks gama 57,8%. Hasil analisis perubahan pendapatan bandara adalah penurunan pendapatan, dengan penurunan terbesar pada Bandar Udara Internasional Husein Sastranegara yaitu 77%.

Kata Kunci—Covid-19, *Graph Theory*, Indeks, Konektivitas.

I. PENDAHULUAN

REPUBLIK Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar yang terdiri dari sekitar 17.504 pulau dan 34 provinsi yang tersebar di berbagai pulau. Oleh sebab itu, dibutuhkan perkuatan konektivitas transportasi yang akan membantu meningkatkan akses bagi masyarakat di seluruh Indonesia sehingga produktivitas dan daya saing dapat meningkat dan merata. Sejak Maret 2020 hingga saat ini, Indonesia menjadi salah satu negara yang terdampak pandemi Covid-19. Penerbangan termasuk salah satu sektor transportasi yang terdampak pandemi Covid-19 yang mendorong diterapkannya pembatasan jarak fisik bahkan *lockdown* serta kebijakan transportasi lainnya yang dibuat untuk mencegah penyebaran virus. Dengan adanya pembatasan-pembatasan perjalanan yang diberlakukan, penerbangan di Indonesia juga ikut menurun. Menurut Menteri Keuangan Sri Mulyani, pada bulan Mei 2020 hanya

terdapat 70 penerbangan dari sekitar 79.000 penerbangan yang ada di Indonesia baik rute domestik maupun internasional. Penurunan jumlah penerbangan ini dapat berdampak pada perusahaan pengelola bandara dan maskapai penerbangan. Dengan berkurangnya permintaan maka pendapatan perusahaan penerbangan dapat menurun dan berpengaruh pada dana pemeliharaan bandara dan pesawat.

Aktivitas penerbangan sendiri merupakan salah satu hal yang mempengaruhi industri penerbangan dan perekonomian. Maka dari itu, perlu dilakukan analisis konektivitas antar bandara ibukota provinsi yang merupakan pusat pemerintahan serta kegiatan perekonomian dan administrasi pada provinsi, sehingga mewakili pergerakan di 34 provinsi di Indonesia. Tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisis pergerakan penerbangan, tingkat indeks konektivitas transportasi udara antar ibukota provinsi di Indonesia, dan perkiraan perubahan pendapatan saat terdampak pandemi Covid-19. Selanjutnya, pergerakan penerbangan dan indeks konektivitas masing-masing bandara dibandingkan antara sebelum dan saat adanya pandemi Covid-19. Sehingga, didapatkan perubahannya dan dapat dijadikan pedoman untuk menentukan langkah selanjutnya demi memaksimalkan pemeliharaan dan pelayanan transportasi udara terutama di saat pandemi Covid-19.

II. METODE PENELITIAN

A. Identifikasi Masalah

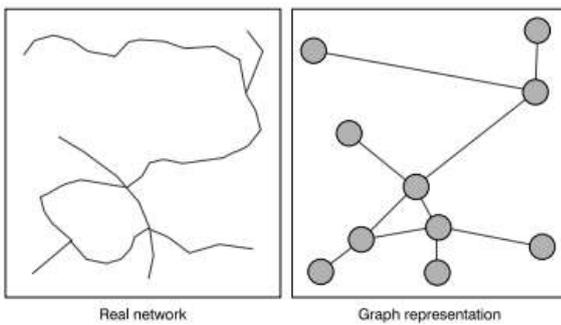
Tahap identifikasi masalah merupakan langkah pertama dalam pengerjaan analisis ini. Dari identifikasi masalah dapat dirumuskan rumusan masalah yang dibahas pada penulisan ini.

B. Studi Literatur

Pengumpulan informasi dilakukan dengan studi literatur, pengumpulan beberapa referensi bacaan dan teori yang berkaitan dengan topik pembahasan. Beberapa sumber yang digunakan adalah buku, artikel, jurnal, peraturan, serta laporan studi dan penelitian terkait.

Dalam buku *The Geography of Transportation* (2013), konektivitas merupakan hubungan antara simpul (*vertex*) yang dihubungkan oleh tautan (*edge*) [1]. Grafik representasi jaringan nyata dapat dilihat pada Gambar 1. Dalam transportasi udara, simpul dapat diasumsikan bandara dan tautan diasumsikan sebagai rute penerbangan. Grafik adalah representasi simbolis dari jaringan dan konektivitasnya. Artinya, grafik merupakan gambaran dari realitas jaringan transportasi sehingga dapat disederhanakan sebagai kumpulan simpul yang terhubung [1].

Konektivitas adalah suatu komponen karakteristik suatu



Gambar 2. Grafik Representasi Jaringan Nyata.

grafik yang mengekspresikan tingkat konektivitas antar titik atau jumlah busur yang terjadi di dalam satu grafik [2]. Pada studi Penggunaan Konsep Konektivitas Teori Graf Sebagai Pijakan Bagi Upaya Penyusunan Metoda Penilaian Kualitas Jaringan Jalan Primer yang dilakukan oleh Suprayitno (2014) ini, Teori Graf digunakan untuk menilai kualitas jaringan jalan dengan menggunakan indeks gama. Didapatkan nilai G1 sebesar 0,40 yang menunjukkan bahwa tingkat konektivitas jaringan masih sangat rendah serta nilai G2 adalah 0,83 lebih kecil daripada 1 yang menunjukkan bahwa masih terdapat titik yang belum terhubung dengan jaringan [2].

Aksesibilitas dan konektivitas adalah elemen utama dalam transportasi jaringan, karena keduanya mengukur kapasitas node untuk menjadi tercapai atau kapasitas untuk mencapai node lain [3]. Metode Teori Grafik dapat diklasifikasikan berdasarkan ruang lingkungannya, yaitu terkait jaringan dan terkait pelabuhan. Indikator terkait jaringan digunakan sebagai perkiraan utama dari struktur jaringan dan untuk tujuan deskriptif: jumlah node dan tautan, panjang jalur rata-rata, dan kepadatan jaringan [3].

C. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penulisan ini. Data yang diperlukan adalah data sekunder berupa daftar bandara ibukota provinsi, data pergerakan penerbangan meliputi jumlah kota layanan, frekuensi, rute, dan maskapai penerbangan, dan data pembanding dari studi terdahulu.

D. Pemodelan Grafik Model Jaringan

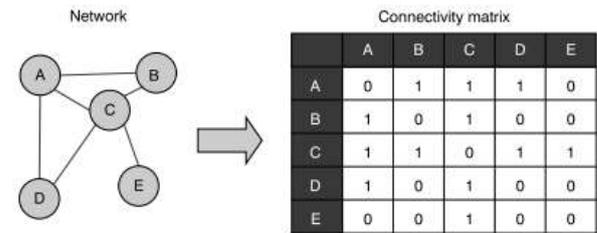
Grafik model jaringan digunakan untuk menunjukkan representasi dari jaringan sebagai kumpulan simpul (*vertex*) dan tautan (*edge*). Untuk mengonversi jaringan nyata menjadi grafik perlu dilakukan beberapa asumsi dan proses:

1. Semua titik persimpangan atau bandar udara menjadi suatu node atau simpul.
2. Setiap simpul yang terhubung berdasarkan rute penerbangan dihubungkan oleh suatu segmen lurus (tautan).

Grafik model data jaringan ini merupakan representasi dari struktur jaringan nyata. Grafik representasi jaringan juga dibuat untuk masing-masing bandar udara tinjauan.

E. Pembuatan Matriks Konektivitas

Dari data pergerakan penerbangan pada bandara tinjauan dan grafik model jaringan, dibuat matriks konektivitas. Matriks konektivitas menunjukkan hubungan masing-masing simpul atau wilayah. Matriks konektivitas hanya



Gambar 1. Matriks Konektivitas.

memperhatikan rute langsung. Jumlah kolom dan baris pada matriks sama dengan jumlah simpul atau bandar udara dalam jaringan. Setiap sel yang memiliki hubungan antar simpul akan diberi nilai 1 dan yang tidak memiliki hubungan akan diberi nilai 0. Penjumlahan matriks memberikan ukuran aksesibilitas yang sangat mendasar, dikenal sebagai derajat konektivitas. Matriks ini juga digunakan untuk mengetahui distribusi perjalanan yang terjadi dalam suatu sistem.

F. Perhitungan Nilai Indeks Konektivitas

Indeks adalah metode yang kompleks untuk merepresentasikan sifat struktural grafik karena melibatkan perbandingan ukuran di atas yang lain [1]. Pengukuran konektivitas dengan *Graph Theory* dapat dilakukan dengan menghitung indeks alfa (α), indeks beta (β), dan indeks gama (γ). Perhitungan indeks tersebut berdasarkan jumlah simpul dan tautan yang didapatkan pada grafik model jaringan dan matriks konektivitas. Matriks konektivitas dapat dilihat pada Gambar 2.

Indeks alfa (α) yang dapat dilihat pada Gambar 3 menunjukkan konektivitas dengan mengevaluasi jumlah siklus dalam grafik jaringan dibandingkan dengan jumlah siklus maksimum. Siklus merupakan rantai dimana simpul awal dan simpul akhir sama dan tidak menggunakan tautan yang sama lebih dari sekali dalam satu siklus. Rentang nilai indeks alfa adalah 0 sampai 1. Nilai 0 menunjukkan jaringan yang belum sepenuhnya terhubung, sedangkan nilai 1 menunjukkan jaringan yang terhubung sepenuhnya. (1) dan (2) merupakan persamaan untuk perhitungan indeks alfa.

$$\alpha = \frac{u}{2v-5} \tag{1}$$

$$u = e - v + p \tag{2}$$

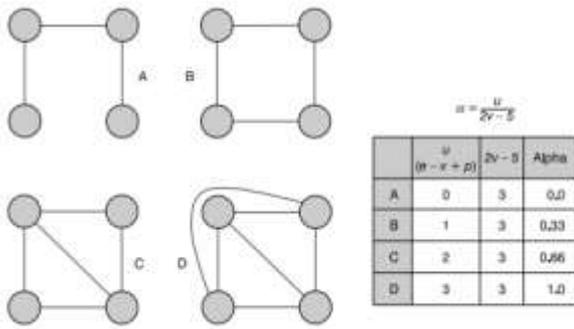
Keterangan:

- α = indeks alfa
- u = jumlah siklus
- p = sub-grafik
- v = simpul (*vertex*)
- e = tautan (*edge*)

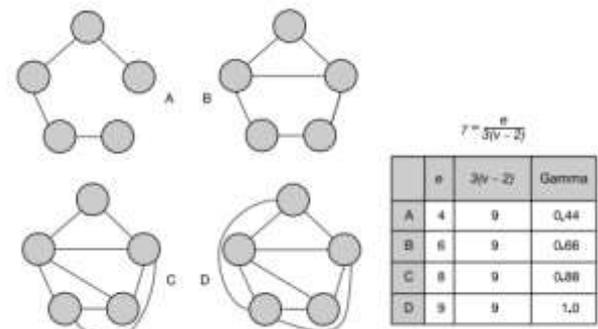
Indeks beta (β) yang dapat dilihat pada Gambar 4 menunjukkan hubungan antara jumlah tautan dan jumlah simpul. Indeks beta mengukur tingkat kompleksitas suatu jaringan. Rentang nilai indeks beta adalah 0 sampai lebih dari 1. Jaringan yang tidak terhubung memiliki nilai 0, jaringan yang terhubung dalam satu siklus memiliki nilai 1, dan jaringan yang lebih kompleks memiliki nilai lebih dari 1. Persamaan untuk menghitung indeks beta dituliskan seperti pada (3).

$$\beta = \frac{e}{v} \tag{3}$$

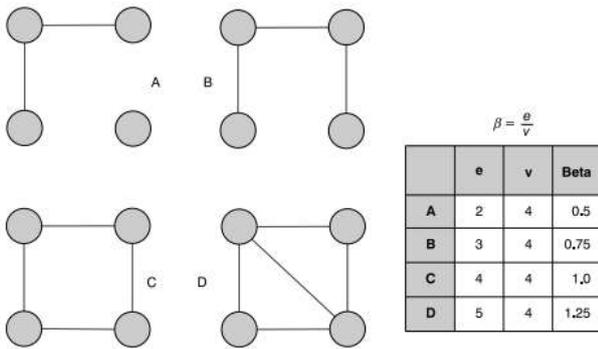
Keterangan:



Gambar 5. Indeks Alfa.



Gambar 3. Indeks Gama.



Gambar 6. Indeks Beta.

β = indeks beta
 e = tautan (edge)
 v = simpul (vertex)

Indeks gama (γ) yang dapat dilihat pada Gambar 5 menunjukkan konektivitas yang mempertimbangkan hubungan antara jumlah tautan (edge) yang diamati dan jumlah tautan (edge) yang memungkinkan. Nilai 0 menunjukkan jaringan yang belum sepenuhnya terhubung karena jumlah tautan yang terjadi dalam jaringan belum maksimal dan nilai 1 menunjukkan jaringan yang terhubung sepenuhnya. (4) merupakan persamaan untuk menghitung indeks gama.

$$\gamma = \frac{e}{3(v-2)} \tag{4}$$

Keterangan:

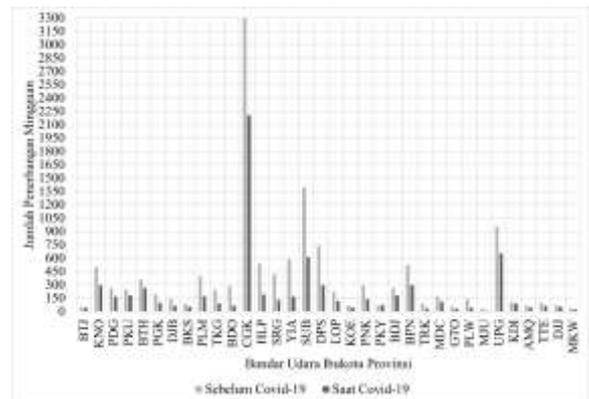
γ = indeks gama
 e = tautan (edge)
 v = simpul (vertex)

Nilai indeks konektivitas yang didapatkan dari tahap pengolahan data ini nantinya dibandingkan dengan indeks konektivitas sebelum adanya pandemi Covid-19 yang didapatkan dari studi terdahulu.

G. Analisis Perkiraan Perubahan Pendapatan Bandara

Pendapatan bandara didapatkan dari aktivitas aeronautika dan non-aeronautika [4]. Hanya ditinjau pendapatan aeronautika bandar udara yang diasumsikan dari pergerakan keberangkatan atau kedatangan pesawat pada bandar udara tinjauan. Perkiraan perubahan pendapatan bandara didapatkan dari persentase selisih dari jumlah pergerakan pada bandara tinjauan saat pandemi dengan jumlah pergerakan pada bandara tinjauan sebelum pandemi. Perubahan pendapatan bandar udara dapat dituliskan dalam (5).

$$\% \Delta \text{Pendapatan} = \frac{\Delta \text{Pendapatan}}{\sum \text{pergerakan sebelum Covid-19}} \times 100 \tag{5}$$



Gambar 4. Jumlah penerbangan langsung mingguan sebelum dan saat Covid-19.

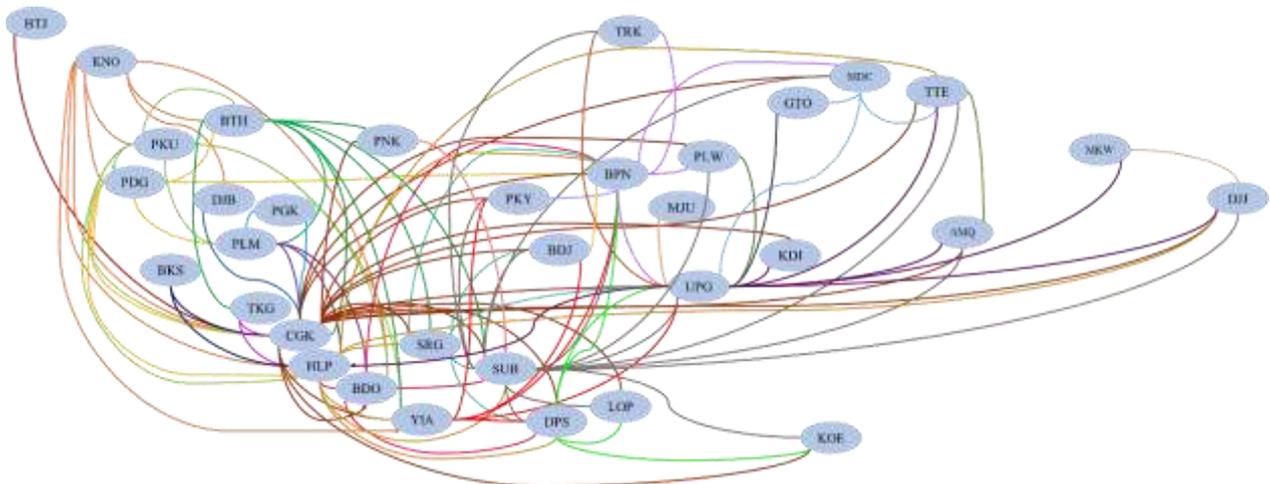
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Pergerakan Penerbangan pada Bandar Udara

Data 34 bandara tinjauan dan klasifikasi kelas serta hierarkinya didapatkan dari Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 166 Tahun 2019 tentang Tatanan Kebandarudaraan Nasional. Pergerakan penerbangan yang ditinjau berupa jumlah kota yang dilayani, frekuensi penerbangan mingguan, maskapai, dan rute penerbangan. Data pergerakan menggambarkan pola jaringan penerbangan tiap bandara tinjauan yang kemudian akan digunakan untuk membuat grafik model jaringan dan matriks konektivitas. Data pergerakan saat Covid-19 dibandingkan dengan sebelum Covid-19. Didapatkan perubahan yang mayoritas merupakan penurunan jumlah penerbangan langsung mingguan. Penurunan jumlah penerbangan langsung mingguan yang terbesar terjadi pada Bandar Udara Husein Sastranegara sebesar 77%. Jumlah penerbangan langsung mingguan dari bandar udara tinjauan sebelum Covid-19 dan saat Covid-19 digambarkan pada grafik Gambar 6.

B. Grafik Model Jaringan

Untuk mengonversi jaringan nyata, maka bandar udara diasumsikan sebagai simpul (vertex) dan rute penerbangan antar bandar udara diasumsikan sebagai tautan sebagai tautan (edge). Dari data bandar udara dan penerbangan langsung, digambarkan bandara dengan bentuk lingkaran dan tautan dengan garis. Garis dengan anak panah menggambarkan arah penerbangan dan tanpa anak panah menggambarkan penerbangan bi-directional. Dibuat grafik representasi jaringan masing-masing bandar udara tinjauan untuk rute penerbangan langsung dan tidak langsung. Grafik model jaringan transportasi udara berdasarkan penerbangan



Gambar 7. Grafik model jaringan transportasi udara berdasarkan penerbangan langsung.

Tabel 1.
Matriks konektivitas

| | BT | KN | PD | PK | BT | PG | DJ | BK | PL | TK | BD | CG | HL | SR | YI | SU | DP | LO | KO | PN | PK | BD | BP | TR | MD | GT | PL | MJ | UP | KD | AM | TT | DJ | MK | Σ | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|
| | J | O | G | U | H | K | B | S | M | G | O | K | P | G | A | B | S | P | E | K | Y | J | N | K | C | O | W | U | G | I | Q | E | J | W | | | |
| BTJ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| KNO | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | |
| PDG | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | |
| PKU | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | |
| BTH | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | |
| PGK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| DJB | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| BKS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| PLM | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | |
| TKG | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | |
| BDO | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | |
| CGK | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 28 | |
| HLP | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 14 |
| SRG | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | |
| YIA | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | |
| SUB | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 18 | |
| DPS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | |
| LOP | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | |
| KOE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | |
| PNK | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | |
| PKY | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | |
| BDJ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | |
| BPN | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | |
| TRK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | |
| MDC | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 | |
| GTO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| PLW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | |
| MJU | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| UPG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 17 | |
| KDI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| AMQ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | |
| TTE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | |
| DJJ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| MKW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |

langsung dapat dilihat pada Gambar 7.

C. Matriks Konektivitas

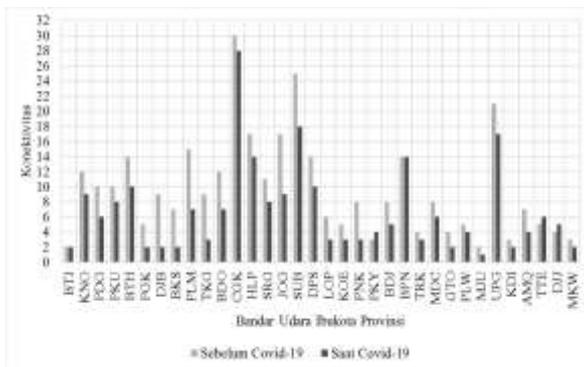
Dari data penerbangan penerbangan langsung dan grafik representasi dapat dibuat matriks konektivitas yang terdiri dari 34 baris dan kolom. Setiap sel yang memiliki hubungan antar simpul diberi nilai 1 dan yang tidak memiliki hubungan diberi nilai 0. Dengan matriks konektivitas pada Tabel 1 dapat ditentukan besarnya derajat konektivitas langsung antar bandar udara tinjauan dengan menjumlahkan nilai dalam sel.

Sehingga, derajat konektivitas tertinggi terdapat pada Bandar Udara Internasional Soekarno Hatta sebesar 28 koneksi dan yang terendah terdapat pada Bandar Udara Tampa Padang sebesar 1 koneksi.

Dibandingkan sebelum pandemi Covid-19, tingkat konektivitas langsung berdasarkan matriks konektivitas saat Covid-19 ini cenderung menurun. Penurunan terbesar terjadi pada Bandar Udara Sultan Thaha sebesar 78%. Perubahan tingkat konektivitas langsung sebelum dan saat Covid-19 digambarkan pada grafik Gambar 8.

Tabel 2.
Rekapitulasi indeks konektivitas teori grafik

| No | Provinsi | Bandara | Kode IATA | Indeks Konektivitas | | |
|----|---------------------------|---|-----------|---------------------|-------|-------|
| | | | | Alfa | Beta | Gama |
| 1 | NAD | Sultan Iskandar Muda | BTJ | 0.413 | 1.735 | 0.615 |
| 2 | Sumatra Utara | Kualanamu | KNO | 0.714 | 2.294 | 0.813 |
| 3 | Sumatra Barat | Minangkabau | PDG | 0.556 | 2.000 | 0.708 |
| 4 | Riau | Sultan Syarif Kasim II | PKU | 0.556 | 2.000 | 0.708 |
| 5 | Kepulauan Riau | Hang Nadim | BTH | 0.762 | 2.382 | 0.844 |
| 6 | Kepulauan Bangka Belitung | Depati Amir | PGK | 0.444 | 1.794 | 0.635 |
| 7 | Jambi | Sultan Thaha | DJB | 0.254 | 1.441 | 0.510 |
| 8 | Bengkulu | Fatmawati Soekarno | BKS | 0.381 | 1.676 | 0.594 |
| 9 | Sumatra Selatan | Sultan Mahmud Badaruddin II | PLM | 0.730 | 2.324 | 0.823 |
| 10 | Lampung | Radin Inten II | TKG | 0.190 | 1.324 | 0.469 |
| 11 | Jawa Barat | Husein Sastranegara | BDO | 0.349 | 1.618 | 0.573 |
| 12 | Banten | Soekarno-Hatta | CGK | 0.841 | 2.529 | 0.896 |
| 13 | DKI Jakarta | Halim Perdanakusuma | HLP | 0.333 | 1.588 | 0.563 |
| 14 | Jawa Tengah | Ahmad Yani | SRG | 0.651 | 2.176 | 0.771 |
| 15 | DI Yogyakarta | Yogyakarta | YIA | 0.714 | 2.294 | 0.813 |
| 16 | Jawa Timur | Juanda | SUB | 0.857 | 2.559 | 0.906 |
| 17 | Bali | I Gusti Ngurah Rai | DPS | 0.698 | 2.265 | 0.802 |
| 18 | NTB | Zainuddin Abdul Madjid | LOP | 0.540 | 1.971 | 0.698 |
| 19 | NTT | El Tari | KOE | 0.365 | 1.647 | 0.583 |
| 20 | Kalimantan Barat | Supadio | PNK | 0.397 | 1.706 | 0.604 |
| 21 | Kalimantan Tengah | Tjilik Riwut | PKY | 0.381 | 1.676 | 0.594 |
| 22 | Kalimantan selatan | Syamsuddin Noor | BDJ | 0.587 | 2.059 | 0.729 |
| 23 | Kalimantan Timur | Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang | BPN | 0.841 | 2.529 | 0.896 |
| 24 | Kalimantan Utara | Juwata | TRK | 0.460 | 1.824 | 0.646 |
| 25 | Sulawesi Utara | Sam Ratulangi | MDC | 0.540 | 1.971 | 0.698 |
| 26 | Gorontalo | Djalaluddin | GTO | 0.206 | 1.353 | 0.479 |
| 27 | Sulawesi Tengah | Mutiara SIS Al-Jufrie | PLW | 0.381 | 1.676 | 0.594 |
| 28 | Sulawesi Barat | Tampa Padang | MJU | 0.333 | 1.588 | 0.563 |
| 29 | Sulawesi Selatan | Sultan Hasanuddin | UPG | 0.746 | 2.353 | 0.833 |
| 30 | Sulawesi Tenggara | Haluoleo | KDI | 0.397 | 1.706 | 0.604 |
| 31 | Maluku | Pattimura | AMQ | 0.444 | 1.794 | 0.635 |
| 32 | Maluku Utara | Sultan Baabullah | TTE | 0.381 | 1.676 | 0.594 |
| 33 | Papua | Sentani | DJJ | 0.492 | 1.882 | 0.667 |
| 34 | Papua Barat | Rendani | MKW | -0.095 | 0.794 | 0.281 |



Gambar 8. Konektivitas langsung berdasarkan matriks konektivitas sebelum dan saat Covid-19.

D. Analisis Nilai Indeks Konektivitas

Perhitungan nilai indeks konektivitas dilakukan dengan menggunakan *Graph Theory* yang mempertimbangkan jumlah bandar udara dan rute penerbangan langsung maupun tidak langsung. Dari penggambaran grafik model jaringan masing-masing banda udara tinjauan, didapatkan jumlah simpul dan tautan yang terdapat pada jaringan tersebut. Dilanjutkan perhitungan nilai indeks konektivitas dengan (1)-(4), diambil contoh perhitungan untuk Bandar Udara Internasional Juanda sebagai berikut:

Diketahui:

- Total bandar udara tinjauan (v) = 34
- Rute penerbangan (e) = 87
- Jumlah Sub-Grafik (p) = 1

1) Indeks Alfa

$$\alpha = \frac{u}{2v-5} \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{e-v+p}{2v-5}$$

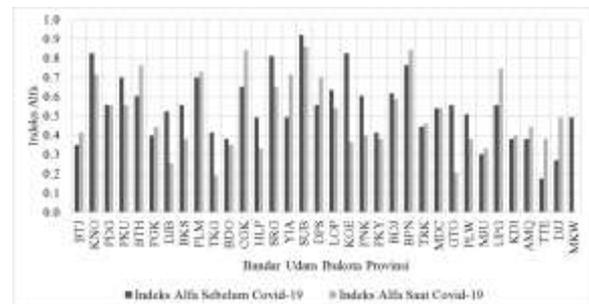
$$\alpha = \frac{87-34+1}{34-5}$$

$$\alpha = 0,857$$

2) Indeks Beta

$$\beta = \frac{e}{v} \tag{3}$$

$$\beta = \frac{87}{34}$$



Gambar 9. Grafik indeks alfa sebelum dan saat Covid-19.

Tabel 3.
Perubahan pendapatan bandar udara

| No | Provinsi | Bandara | Kode IATA | % Perubahan Pendapatan Bandar Udara |
|----|---------------------------|---|-----------|-------------------------------------|
| 1 | Nanggroe Aceh Darussalam | Sultan Iskandar Muda | BTJ | -14.29% |
| 2 | Sumatra Utara | Kualanamu | KNO | -40.36% |
| 3 | Sumatra Barat | Minangkabau | PDG | -35.85% |
| 4 | Riau | Sultan Syarif Kasim II | PKU | -25.41% |
| 5 | Kepulauan Riau | Hang Nadim | BTH | -26.74% |
| 6 | Kepulauan Bangka Belitung | Depati Amir | PGK | -49.75% |
| 7 | Jambi | Sultan Thaha | DJB | -52.48% |
| 8 | Bengkulu | Fatmawati Soekarno | BKS | -36.47% |
| 9 | Sumatra Selatan | Sultan Mahmud Badaruddin II | PLM | -56.86% |
| 10 | Lampung | Radin Inten II | TKG | -62.40% |
| 11 | Jawa Barat | Husein Sastranegara | BDO | -77.00% |
| 12 | Banten | Soekarno-Hatta | CGK | -33.18% |
| 13 | DKI Jakarta | Halim Perdanakusuma | HLP | -64.38% |
| 14 | Jawa Tengah | Ahmad Yani | SRG | -69.36% |
| 15 | DI Yogyakarta | Yogyakarta | YIA | -71.16% |
| 16 | Jawa Timur | Juanda | SUB | -56.09% |
| 17 | Bali | I Gusti Ngurah Rai | DPS | -60.11% |
| 18 | Nusa Tenggara Barat | Zainuddin Abdul Madjid | LOP | -48.67% |
| 19 | Nusa Tenggara Timur | El Tari | KOE | -37.14% |
| 20 | Kalimantan Barat | Supadio | PNK | -53.04% |
| 21 | Kalimantan Tengah | Tjilik Riwut | PKY | 4.29% |
| 22 | Kalimantan selatan | Syamsuddin Noor | BDJ | -32.08% |
| 23 | Kalimantan Timur | Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang | BPN | -43.24% |
| 24 | Kalimantan Utara | Juwata | TRK | -64.13% |
| 25 | Sulawesi Utara | Sam Ratulangi | MDC | -37.14% |
| 26 | Gorontalo | Djalaluddin | GTO | -51.67% |
| 27 | Sulawesi Tengah | Mutiara SIS Al-Jufrie | PLW | -66.92% |
| 28 | Sulawesi Barat | Tampa Padang | MJU | -63.64% |
| 29 | Sulawesi Selatan | Sultan Hasanuddin | UPG | -31.52% |
| 30 | Sulawesi Tenggara | Haluoleo | KDI | -17.76% |
| 31 | Maluku | Pattimura | AMQ | -33.80% |
| 32 | Maluku Utara | Sultan Baabullah | TTE | -36.46% |
| 33 | Papua | Sentani | DJJ | -29.33% |
| 34 | Papua Barat | Rendani | MKW | -44.74% |

$\beta = 2,559$

3) Indeks Gama

$$\gamma = \frac{e}{3(v-2)} \tag{4}$$

$$\gamma = \frac{e}{3(v-2)}$$

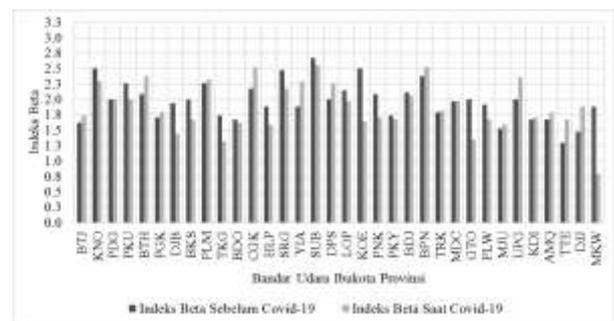
$\gamma = 0,906$

Rekapitulasi perhitungan indeks konektivitas bandar udara tinjauan menggunakan *Graph Theory* terdapat pada Tabel 2. Hasil perhitungan indeks konektivitas saat Covid-19 dibandingkan dengan indeks konektivitas sebelum Covid-19 untuk melihat pengaruh Covid-19 terhadap konektivitas antar provinsi di Indonesia. Nilai indeks konektivitas saat Covid-19 cenderung lebih rendah dibandingkan sebelum Covid-19. Penurunan nilai indeks terjadi pada Bandar Udara Rendani dengan penurunan indeks alfa sebesar 119,4%, indeks beta sebesar 57,8%, dan indeks gama 57,8%. Perbandingan nilai indeks konektivitas sebelum dan saat Covid-19 digambarkan dengan grafik pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.

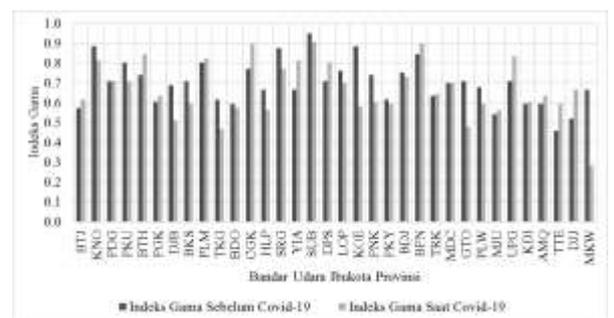
E. Analisis Perubahan Pendapatan Bandar Udara

Perkiraan perubahan pendapatan bandar udara diasumsikan dengan persentase perubahan pergerakan penerbangan dari masing-masing bandar udara tinjauan. Perhitungan dilakukan dengan mencari selisih jumlah penerbangan langsung mingguan dari bandar udara tinjauan saat Covid-19 dan sebelum Covid-19 kemudian dijadikan

bentuk persentase seperti (5). Perhitungan dilakukan untuk 34 bandara tinjauan, sehingga didapatkan rekapitulasi perubahan pendapatan bandar udara seperti pada Tabel 3. Terdapat 33 bandar udara yang mengalami penurunan pendapatan. Bandar udara yang mengalami penurunan pendapatan terbesar adalah bandar udara Bandar Udara Internasional Husein Sastranegara dengan penurunan sebesar 77%. Sementara itu, terdapat bandara yang mengalami peningkatan pendapatan



Gambar 10. Grafik indeks beta sebelum dan saat Covid-19.



Gambar 11. Grafik indeks gama sebelum dan saat Covid-19.

sebesar 4,29% yaitu Bandar Udara Tjilik Riwut.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis konektivitas menggunakan *Graph Theory* serta analisis perkiraan perubahan pendapatan bandar udara, maka didapatkan beberapa kesimpulan yang pertama, dari hasil analisis data pergerakan penerbangan sebelum dan saat pandemi Covid-19 didapatkan perubahan pergerakan penerbangan langsung pada bandar udara ibukota provinsi. Perubahan yang terjadi berupa berkurangnya bandar udara tinjauan yang dilayani dan berkurangnya jumlah penerbangan mingguan dari bandar udara tinjauan.

Kedua, terdapat kesimpulan yang diambil dari proses perhitungan indeks konektivitas, antara lain dari grafik model jaringan dan matriks konektivitas yang telah dibuat, dapat disimpulkan hasil penggambaran didapatkan bahwa rute jaringan transportasi udara berdasarkan penerbangan langsung antar ibukota provinsi secara keseluruhan sangat kompleks. Selain itu, digambarkan juga grafik model jaringan dari masing-masing bandara yang meliputi rute penerbangan langsung dan tidak langsung. Selanjutnya, Matriks konektivitas menunjukkan hubungan masing-masing simpul atau wilayah provinsi dengan menjumlahkan nilai pada sel. Dari matriks konektivitas, didapatkan tingkat konektivitas langsung terbesar adalah 28 koneksi (12,2%) pada Bandar Udara Internasional Soekarno Hatta. Sedangkan tingkat konektivitas langsung terendah adalah sebesar 1 koneksi (0,4%) pada Bandar Udara Tampa Padang. Terdapat perubahan tingkat konektivitas langsung sebelum dan saat Covid-19, mayoritas perubahan tersebut merupakan penurunan. Penurunan terbesar adalah sebesar 78% terjadi pada Bandar Udara Sultan Thaha. Dari hasil perhitungan nilai indeks konektivitas dapat disimpulkan: Didapatkan nilai

indeks alfa tertinggi pada Bandar Udara Internasional Juanda sebesar 0,857. Sedangkan, nilai terendah indeks alfa adalah 0 pada Bandar Udara Rendani. Selanjutnya, didapatkan nilai indeks beta tertinggi sebesar 2,559 pada Bandar Udara Internasional Juanda. Sedangkan, nilai terendah indeks beta adalah sebesar 0,794 pada Bandar Udara Rendani. Kemudian, didapatkan nilai tertinggi indeks gama sebesar 0,906 pada Bandar Udara Internasional Juanda. Sedangkan, nilai terendah indeks konektivitas gama adalah 0,281 pada Bandar Udara Rendani, dan yang terakhir didapatkan indeks konektivitas berdasarkan Teori Grafik ini jika dibandingkan dengan sebelum Covid-19 dapat dikatakan mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada Bandar Udara Rendani yaitu, indeks alfa sebesar 119,4%, indeks beta sebesar 57,8% dan indeks gama sebesar 57,8%.

Dari hasil perhitungan perkiraan perubahan pendapatan yang ditinjau dari penerbangan langsung dapat disimpulkan bahwa akibat adanya pandemi Covid-19, hampir semua bandar udara mengalami penurunan pendapatan. Penurunan pendapatan terbesar terjadi pada bandar udara Bandar Udara Internasional Husein Sastranegara dengan penurunan sebesar 77%. Sementara itu, terdapat satu bandara yang mengalami peningkatan yaitu Bandar Udara Tjilik Riwut sebesar 4,29%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.-P. Rodrigue, C. Comtois, dan B. Slack, *The Geography of Transport Systems (3rd Edition)*. London: Routledge, 2013.
- [2] H. Supriyatno, "Penggunaan konsep konektivitas teori graf sebagai pijakan bagi upaya penyusunan metoda penilaian kualitas jaringan jalan primer," *J. Tek. ITS*, 2014.
- [3] Tovar, Beatriz, R. Hernández, dan H. Rodríguez-Déniz, "Container port competitiveness and connectivity: The Canary Islands main ports case," *Transp. Policy*, hal. 40–51, 2015.
- [4] International Civil Aviation Organization, *Airport Economics Manual (3rd Edition)*. Montreal: International Civil Aviation Organization, 2013.