

## Penentuan Hub Maintenance Non-Destructive Test (NDT) Dengan Metode *Spanning Tree*

Bayu wicaksono<sup>1,\*</sup>, Mufti Arifin<sup>2</sup>, Ayu Martina<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Dirgantara dan Industri,  
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta, Indonesia

\*Author : [bayuwicaksono1101@gmail.com](mailto:bayuwicaksono1101@gmail.com)

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 30 Agustus 2024  
Direvisi: 26 September 2024  
Diterima: 30 September 2024

#### Kata kunci:

Pengujian tidak merusak  
Station  
Hub And Spoke  
Spanning Tree

#### Keywords:

Non—Destructive Test  
Station  
Hub And Spoke  
Spanning Tree.

#### Penulis Korespondensi:

Bayu wicaksono  
Email:  
[Bayuwicaksono1101@gmail.com](mailto:Bayuwicaksono1101@gmail.com)

### ABSTRAK

Dalam industri penerbangan, pesawat seringkali mengalami kejadian tak terduga yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur pesawat, seperti akibat bird strike, foreign object debris (FOD), atau benturan dengan tangga pesawat. Untuk memastikan pesawat dalam kondisi laik terbang, dibutuhkan inspeksi tak terjadwal yang dilakukan oleh personel Non-Destructive Testing (NDT). Namun, keterbatasan fasilitas NDT di berbagai bandara memerlukan adanya jaringan pemeliharaan yang terintegrasi, di mana tidak semua bandara memiliki fasilitas ini. Jaringan NDT biasanya hanya tersedia di bandara yang menjadi hub pemeliharaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan titik hub dalam jaringan NDT yang dapat menghubungkan setiap bandara dalam jaringan hub and spoke untuk memastikan aksesibilitas inspeksi pesawat yang lebih efisien. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spanning Tree untuk mensimulasikan pemilihan titik hub yang optimal berdasarkan jarak antar bandara. Penelitian ini menggunakan 20 bandara sebagai stasiun pemeliharaan dan 40 sisi penghubung antara bandara hub dan bandara spoke. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tiga bandara yang terpilih sebagai titik hub optimal adalah Bandara Batam (dengan jarak optimal 1,109 NM), Bandara Jakarta (dengan jarak optimal 1,189 NM), dan Bandara Makassar (dengan jarak optimal 1,900 NM). Temuan ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan jaringan pemeliharaan NDT yang lebih efisien dalam memastikan kelayakan operasional pesawat.

*In the aviation industry, aircraft are often subjected to unexpected events that can cause damage to their structure, such as bird strikes, foreign object debris (FOD), or collisions with stairs. To ensure that an aircraft is airworthy, unscheduled inspections are conducted by Non-Destructive Testing (NDT) personnel. However, due to limited NDT facilities at various airports, there is a need for an integrated maintenance network, as not all airports have these facilities. NDT services are typically available only at airports that serve as maintenance hubs. The objective of this study is to determine the optimal hub locations within the NDT network that can connect all airports in a hub-and-spoke system, ensuring more efficient access to aircraft inspections. The method used in this study is the Spanning Tree algorithm to simulate the selection of optimal hub locations based on the distances between airports. The study utilizes 20 airports as maintenance stations and 40 connecting edges between hub and spoke airports. The simulation results indicate that the three optimal hub airports are Batam Airport (with an optimal distance of 1,109 NM), Jakarta Airport (with an optimal distance of 1,189 NM), and Makassar Airport (with an optimal distance of 1,900 NM). These findings can serve as a basis for the development of a more efficient NDT maintenance network to ensure aircraft operational readiness.*

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Dalam dunia penerbangan perawatan pesawat terbagi menjadi dua kelompok yaitu pencegahan dan perbaikan. Perawatan pencegahan bertujuan untuk mencegah kerusakan dan kegagalan komponen. Adapun perawatan perbaikan bertujuan memperbaiki komponen yang rusak agar kembali ke kondisi semula.

Dalam hal ini Non-Destructive Test (NDT) bisa berperan dalam perawatan pencegahan sekaligus perawatan untuk inspeksi pada struktur dan komponen pesawat untuk mendeteksi adanya crack atau kegagalan lainnya. Dengan NDT juga bisa diketahui dimensi dari kegagalan yang terjadi sehingga bisa ditentukan apakah kerusakan yang terjadi masih diizinkan untuk beroperasi (*available limit*). Maintenance NDT ini tidak digunakan setiap saat kecuali pengerjaan component yang dilakukan di shop. Pada saat pesawat terbang mengalami insiden yang melibatkan pemeriksaan NDT, dan di bandara tersebut tidak terdapat shop maka personil NDT yang akan mendatangi pesawat tersebut untuk pemeriksaan NDT.

Pengerjaan NDT membutuhkan personil dan alat khusus dalam pelaksanaannya sehingga membutuhkan anggaran yang mahal sehingga tidak memungkinkan tersedia untuk setiap bandara dimana maskapai X beroperasi sehingga hanya bisa ditempatkan di berbagai titik Hub, pada penelitian ini hanya menggunakan 20 bandara dengan kriteria bandara tersebut bisa menjadi station maintenance dan bandara terletak di kota besar dan terujung yang bisa menghubungkan pada bandar-bandara disekitarnya.

Dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi penentuan Hub maintenance NDT pada 20 bandara dengan metode *Spanning Tree*. Penggunaan metode *Spanning Tree* digunakan untuk menentukan titik Hub yang akan menghubungkan ke semua titik bandara yang paling optimal. sehingga didapatkan kriteria titik hub ini terdekat dari banyak bandara yang menjadi rute penerbangan maskapai X.

## II. METODE PENELITIAN

Proses pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi dan wawancara untuk mengetahui data bandara station pada maskapai X. Pada tahap ini, menentukan jaringan *Spanning Tree* berdasarkan bandara outstation pada maskapai X. Tahapan selanjutnya menganalisa simulasi jaringan yang telah ditentukan untuk mengetahui jaringan sehingga menjadi jaringan Minimum *Spanning Tree*. Dengan ketentuan hasil tersebut dihasilkan hub untuk maintenance NDT dengan melihat hasil perhitungan minimum *Spanning Tree*. Sebagai tahap terakhir, kesimpulan dibuat berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan sudah sesuai dengan tujuan penelitian, serta saran yang diperuntukkan sebagai perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

### 2.1 Perawatan Pesawat Udara

Setiap pesawat udara selama beroperasi pasti mempunyai jadwal untuk perawatan. perawatan ini harus dilakukan karena setiap komponen mempunyai batas usia tertentu sehingga komponen tersebut harus diganti. selain itu, komponen juga harus diperbaiki bila ditemukan telah mengalami kerusakan. Secara garis besar, program perawatan dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu perawatan preventif dan korektif. Perawatan preventif adalah perawatan yang mencegah terjadinya kegagalan komponen sebelum komponen tersebut rusak. Sedangkan perawatan korektif adalah perawatan yang memperbaiki komponen yang rusak agar kembali ke kondisi awal.

Perawatan Preventif dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu: perawatan periodik atau *hard time*, merupakan perawatan yang dilakukan berdasarkan batas waktu dari umur maksimum suatu komponen pesawat. Dengan kata lain, perawatan ini merupakan perawatan pencegahan dengan cara mengganti komponen pesawat meskipun komponen tersebut belum mengalami kerusakan. Perawatan *on-condition*, merupakan perawatan yang memerlukan inspeksi untuk menentukan kondisi suatu komponen pesawat. Setelah itu ditentukan tindakan selanjutnya berdasarkan hasil perawatan periodik atau *hard time*, merupakan perawatan yang dilakukan berdasarkan batas waktu dari umur maksimum suatu komponen pesawat. Dengan kata lain, perawatan ini merupakan perawatan pencegahan dengan cara mengganti komponen pesawat meskipun komponen tersebut belum mengalami kerusakan. Perawatan *on-condition*, merupakan perawatan yang memerlukan inspeksi untuk menentukan kondisi suatu komponen pesawat. Setelah itu ditentukan tindakan selanjutnya berdasarkan

hasil inspeksi tersebut. Bila ada gejala kerusakan, komponen tersebut dapat diganti bila alasan-alasan teknik dan ekonominya memenuhi.

## 2.2 Inspeksi Perawatan Pada Pesawat dan *Non-Destructive Test*

Inspeksi adalah pemeriksaan visual dan pemeriksaan manual untuk menentukan kondisi pesawat atau komponen. Suatu inspeksi pesawat udara dapat berkisar dari *walk around* kasual hingga inspeksi terperinci yang melibatkan pembongkaran total dan penggunaan alat bantu inspeksi kompleks. Sistem inspeksi dirancang untuk menjaga pesawat dalam kondisi sebaik mungkin. Pesawat dapat diinspeksi menggunakan jam penerbangan sebagai dasar penjadwalan, atau pada sistem inspeksi kalender. Inspeksi kalender dilakukan pada berakhirnya jumlah minggu kalender yang ditentukan. Sistem inspeksi kalender merupakan sistem yang efisien dari sudut pandang manajemen pemeliharaan. Penggantian komponen yang dijadwalkan dengan batasan operasi per jam yang dilakukan selama inspeksi kalender yang jatuh paling dekat dengan batasan per jam. NDT merupakan pengujian terhadap benda tanpa merusak benda tersebut untuk mengetahui kondisi material atau komponen yang mengalami kerusakan untuk menentukan komponen tersebut dalam kondisi baik atau harus dilakukan perbaikan. Pelaksanaan tes ini dilakukan untuk mendeteksi kecacatan atau penyebab kerusakan.

## 2.3 Hub and Spoke

*Hub* adalah pusat pertukaran penumpang dari satu moda transportasi ke moda transportasi lainnya. *Hub* berarti bandara sentral atau fasilitas transportasi lainnya dengan banyak layanan yang beroperasi. *Hub* bandara tidak hanya menjadi tempat dimana penumpang berangkat dan tiba banyak *Hub* yang menyediakan tempat sebagai tempat pemeliharaan atau perawatan pesawat terbang untuk memastikan keamanan pelayanan transportasi. Sedangkan *spoke* adalah bandar-bandara kecil yang tidak termasuk *Hub*. Untuk maintenance juga memiliki *hub* sebagai pusat pemeliharaan pesawat terbang di *hub* terdapat fasilitas yang lebih lengkap. Dimana pusat pemeliharaan yang dilakukan disini dilakukan di *base maintenance*, *line maintenance* dan *while break shope* yang tidak tersedia di bandara yang menjadi *spoke*.



Gambar 1 Hub and Spoke

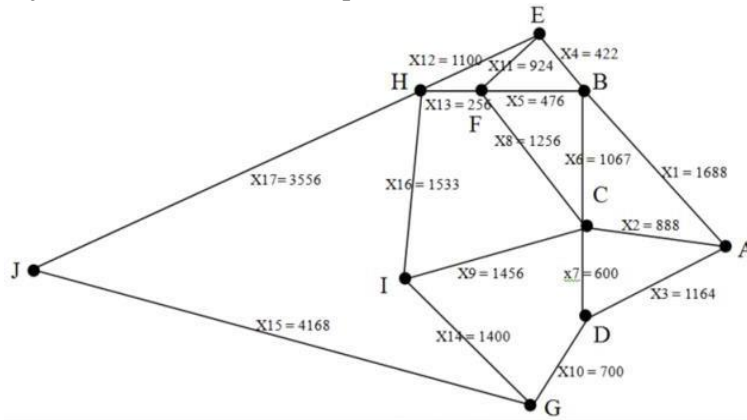
## 2.4 Metode Spanning Tree

*Minimum Spanning Tree* (MST) merupakan salah satu masalah klasik yang muncul sebagai salah satu bentuk terapan dari teori graf. MST umumnya digunakan dalam desain network atau jaringan. Masalah dasarnya adalah : jika diberikan graf  $G(V,E)$  dengan bobot setiap garis  $e_{ij}$  adalah  $C_{ij}$ ,  $C_{ij} > 0$ , maka yang diinginkan adalah mengkonstruksikan atau mendapatkan suatu jaringan yang mempunyai bobot terkecil, dan ini disebut dengan *Minimum Spanning Tree*. Permasalahan umum dari minimum spanning tree adalah menentukan garis-garis (*edge*) dari suatu graf yang akan dipilih yang menghubungkan semua titik sirkuit dan total bobot dari garis tersebut adalah minimum, untuk mendapatkan solusi yang diharapkan, akan dipilih garis menurut kriteria optimisasi yang menghasilkan jarak minimum. Jadi untuk masalah minimum hub and spoke yang diinginkan adalah: Graf terhubung, Tidak membentuk sirkuit, Total bobot atau jarak terkecil (minimum). Algoritma Prim adalah suatu algoritma didalam teori graf yang bertujuan menentukan suatu pohon rentang dengan semua sisi di dalam pohon adalah minimal. Secara terurut algoritma Prim dapat dituliskan sebagai berikut.

Step1: Pilih sebuah titik  $v$  di  $G$  dan tulis  $T_1 = v$ .

Step2: Pilih sebuah sisi  $ek$  dengan bobot minimal yang menghubungkan sebuah titik  $T_k$  dengan sebuah titik  $G$  yang bukan di  $T_k$ . Jika terdapat lebih dari satu sisi yang demikian, pilih salah satu sebarang. Tulis  $T_{k+1} = T_k \cup \{ek\}$ .

Step3: Jika  $n-1$  sisi telah terpilih ( $k = n-1$ ), berhenti dan beri pesan  $T_{k+1}$  adalah pohon rentang minimal di  $G$ . jika  $k < n-1$ , kembali ke step 2.



Gambar 2 Contoh Graf Jaringan

Sisi	Titik	Jarak ( bobot )
X1	A - B	1688
X2	A - C	888
X3	A - D	1164
X4	B - E	422
X5	B - F	476
X6	B - C	1067
X7	C - D	600
X8	C - F	1256
X9	C - I	1456
X10	D - G	700
X11	E - F	924
X12	E - H	1100
X13	F - H	256
X14	G - I	1400
X15	G - J	4168
X16	H - I	1533
X17	H - J	3556

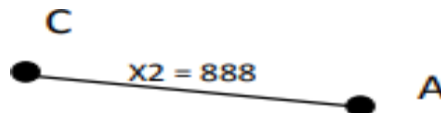
Gambar 3 Data sisi dan jarak

Pada gambar 3 diperoleh Jarak dengan menggunakan rumus jarak = kecepatan x waktu. Selanjutnya dibuat model dalam graf, gambar 4 dibuat model graf yang berisi titik, sisi dan jarak, diperoleh graf seperti Gambar 3. Mencari minimum spanning tree dengan menggunakan algoritma Prim berdasarkan Gambar 5 yang telah dibuat adalah dengan cara menelusuri dari titik awal A menuju ke setiap titik yang dilalui dengan mempertimbangkan bobot yang terlewati bernilai minimum dan tidak membentuk siklus. Iterasi 1 pilih sebuah titik yaitu A (seperti pada Gambar 5).



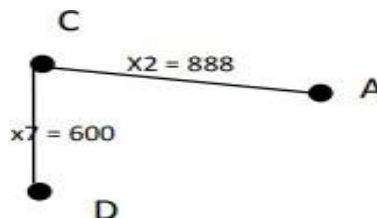
Gambar 5 Iterasi 1

Iterasi 2 pilih sisi dengan bobot terkecil yang terkait dengan titik A yaitu  $X_2 = AC$  dengan bobot 888. (seperti pada Gambar 6).



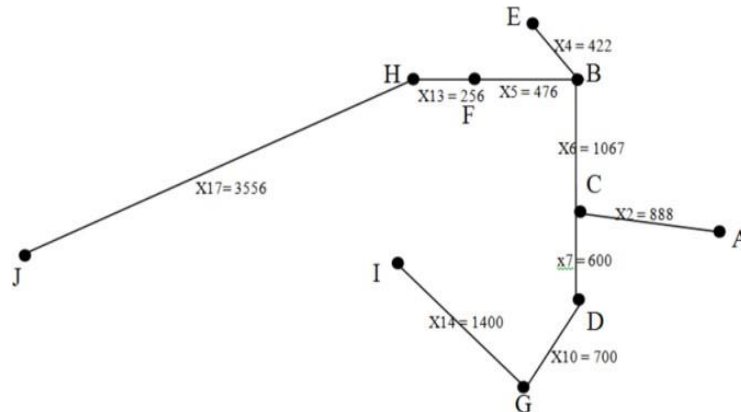
Gambar 6 terasi 2

Iterasi 3 pilih sisi dengan bobot terkecil yang terkait dengan titik A dan titik C yaitu  $X_7 = CD$  dengan bobot 600. (seperti pada Gambar 7).



Gambar 2.7 Iterasi 3

Untuk iterasi ke 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 dilakukan langkah yang sama dengan langkah, pada iterasi 1, 2, dan 3. Iterasi 10 pilih sisi dengan bobot terkecil yang terkait dengan titik A, titik C, titik D, titik G, titik B, titik E, titik F, titik H dan titik I yaitu = HJ dengan bobot 3556.



Gambar 8 Hasil Minimum Spaning Tree

Dari Iterasi ke10 terlihat semua titik telah terhubung dan tidak ada yang membentuk siklus. Berdasarkan perhitungan algoritma Prim di atas, diperoleh minimum spanning tree dengan jumlah bobot:

$$\begin{aligned}
 & (A,C) + (C,D) + (D,G) + (C,B) + (B,E) + (B,F) + (F,H) + (G,I) + (H,J) \\
 & = X2 + X7 + X10 + X6 + X4 + X5 + X13 + X14 + X17 \\
 & = 888 + 600 + 700 + 1067 + 422 + 476 + 256 + 1400 + 3556 \\
 & = 9365 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Diperoleh minimum spanning tree di graf jaringan pendistribusian dengan data di atas dengan bobot 9365 m. Dari graf awal 10 titik dan 17 sisi, setelah diperoleh minimum spanning tree-nya menjadi 10 titik dan 9 sisi.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Station Bandara

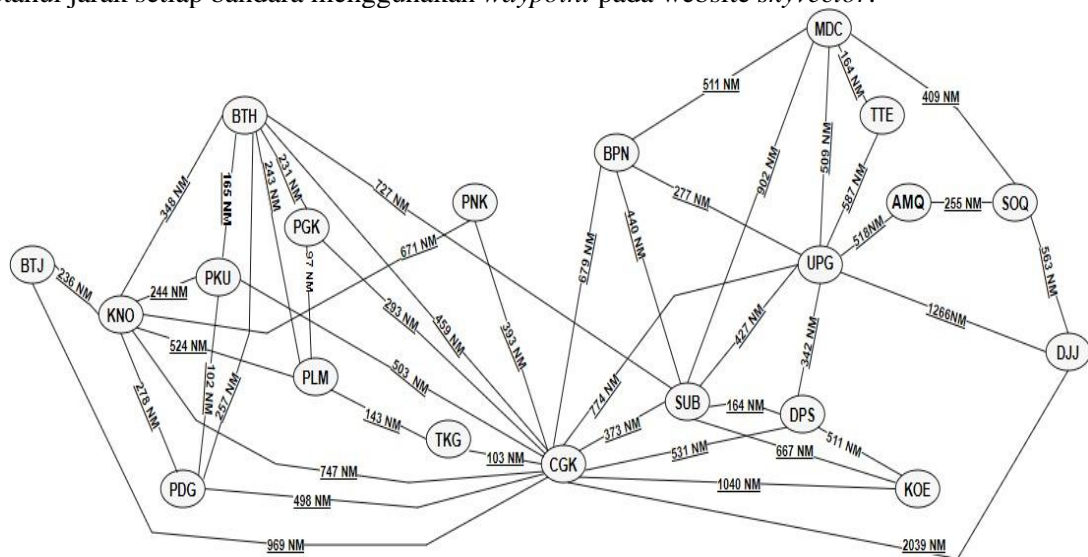
Sebuah maskapai memiliki beberapa rute yang menghubungkan beberapa bandara. Pada setiap bandara terdapat warehouse (Gudang) baik yang berukuran besar maupun kecil. Store menyimpan beberapa fast moving spare parts (misalnya wheel). Tidak semua store terdapat alat maupun manpower NDT untuk melaksanakan maintenance NDT. Untuk maintenance NDT yang dimana pada bandara tersebut tidak terdapat manpower dan alat untuk maintenance akan dikirimkan dari base. Agar pelaksanaan maintenance bisa efisien harus ditentukan Hub sebagai base manpower dan alat pada bandara maskapai X yang menjadi rute penerbangan. Berikut ini rute bandara yang melayani rute penerbangan maskapai X:

Table 1. rute penerbangan maskapai X

NO	Kode Bandara Asal	Kode Bandara Tujuan	Jarak (NM)
1	BTJ	KNO	236
2	BTJ	CGK	969
3	KNO	BTH	349
4	KNO	PKU	244
5	KNO	PNK	671
6	KNO	PLM	524
7	KNO	CGK	747
8	KNO	PDG	278
9	BTH	SUB	727
10	BTH	CGK	459
11	BTH	PLM	243
12	BTH	PDG	257
13	PKU	CGK	503
14	PDG	CGK	498
15	PLM	CGK	97
16	PLM	TKG	143
17	PGK	CGK	239

NO	Kode Bandara Asal	Kode Bandara Tujuan	Jarak (NM)
18	PNK	CGK	393
19	TKG	CGK	103
20	CGK	BPN	679
21	CGK	UPG	774
22	CGK	SUB	373
23	CGK	DPS	531
24	CGK	KOE	1040
25	CGK	DJJ	2039
26	SUB	BPN	440
27	SUB	MDC	902
28	SUB	UPG	427
29	SUB	DPS	169
30	SUB	KOE	667
31	BPN	MDC	511
32	BPN	UPG	277
33	KOE	DPS	511
34	DPS	UPG	344
35	UPG	MDC	509
36	UPG	TTE	587
37	UPG	AMQ	518
38	UPG	DJJ	1266
39	MDC	SOQ	409
40	SOQ	DJJ	563

Pada tabel diatas tertera Bandara-bandara yang menjadi rute penerbangan maskapai X, dan untuk mengetahui jarak setiap bandara menggunakan *waypoint* pada website *skyvector*.



**Gambar 9** Jaringan Bandara Maskapai X

Pada Gambar 9 dibawah ini ditampilkan jaringan bandara maskapai X dengan menggunakan aplikasi *draw.io* untuk merancang jaringan bandara station. Dihasilkan sebuah jaringan maskapai X pada 20 titik bandara maskapai X dan dihasilkan 40.

Pada jaringan Gambar 9 dilakukan percobaan bandara sebagai HUB yang menghasilkan jarak yang paling optimum. Dengan membagi jaringan menjadi 3 wilayah sebagai berikut:

Wilayah Barat: BTJ, KNO, BTH, PKU, PDG, PGK, PLM.

Wilayah Tengah: CGK, TKG, PNK, BPN, SUB, DPS, KOE.

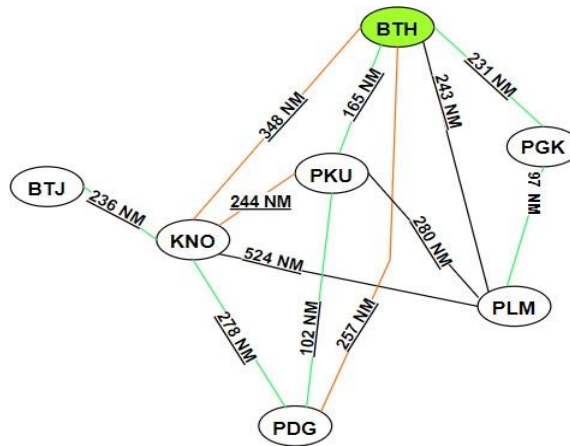
Wilayah Timur: UPG, MDC, TTE, AMQ, SOQ, DJJ.

Untuk mendapatkan jarak yang paling optimum diawali dengan pilih node awal. Dari semua edge yang terhubung ke node awal tersebut, pilih edge dengan bobot terkecil. Tandai edge yang kedua node-nya sudah terkena jalur hijau. Apabila ada edge yang menghubungkan kedua node-nya sudah terkena jalur hijau, tandai edge tersebut dengan warna merah (jika dipilih akan membentuk jalur cycle disebabkan



melanggar syarat Tree) Bandingkan semua edge yang terhubung ke node-node hijau, pilih bobot terkecil (memenuhi syarat Tree) Ulangi sampai semua node terhubung dengan jalur hijau, maka jalur hijau yang tersebut adalah MST yang dicari.

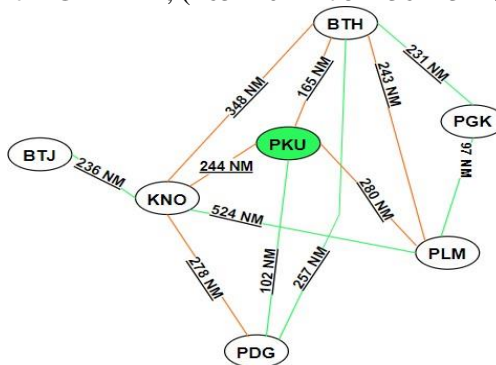
### 3.2 Analisis Spaning Tree Pada wilayah Barat



**Gambar 10** Jaringan Spaning Tree dengan Hub Bandara Batam

Pada Gambar 10 dilakukan percobaan analisis Spaning Tree dengan menjadikan bandara Batam sebagai Hub dan dihasilkan jarak optimum pada bandara Batam sebagai berikut:

$$BTH-PKU-PDG-KNO-BTJ-PGK-PLM, (165+102+278+236+231+97) = 1,109 \text{ NM}$$

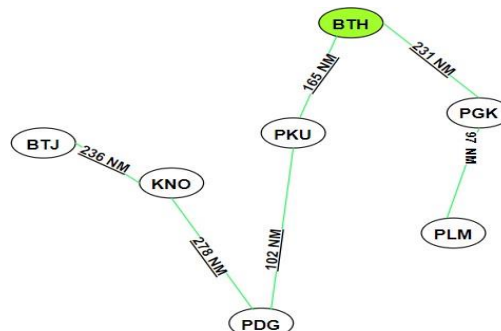


**Gambar 11** Jaringan Spaning Tree pada Hub bandara Pekan baru

Pada Gambar 11 dilakukan percobaan kedua pada Bandara pekan Baru sebagai Hub dan dihasilkan jarak optimum sebagai berikut:

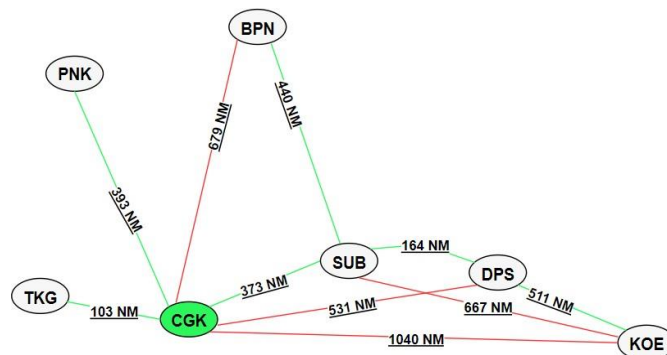
$$PKU-BTH-PGK-PLM-KNO-BTJ-PDG (102+257+231+97+524+236) = 1,447 \text{ NM}.$$

Dengan dilakukannya 2 percobaan jaringan wilayah Barat pada bandara Batam dan Pekanbaru didapatkan jarak yang paling optimal pada wilayah barat bandara batam sebagai Hub dengan bobot jarak sebesar 1,109 NM lebih kecil dibandingkan Bandara Pekanbaru dengan bobot jarak sebesar 1,447 NM.



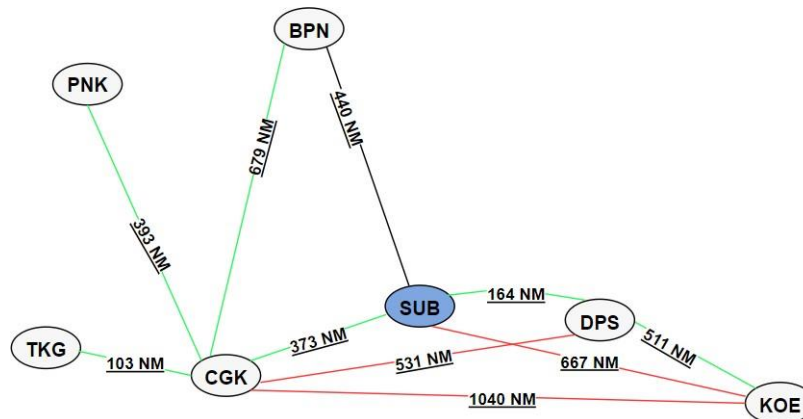
**Gambar 12** jaringan Spanning Tree Bandara Batam

### 3.3 Analisis Spanning Tree Pada wilayah Tengah



**Gambara 13** Jaringan *Spanning Tree* pada Hub Bandara Jakarta

Pada Gambar 13 dilakukan percobaan analisis *Spanning Tree* dengan menjadikan bandara Jakarta sebagai Hub dan dihasilkan jarak optimum pada bandara Jakarta sebagai berikut:  
 CGK-TKG-PNK-SUB-BPN-DPS-KOE,  $(103+393+373+164+440+511) = 1,984$  NM.

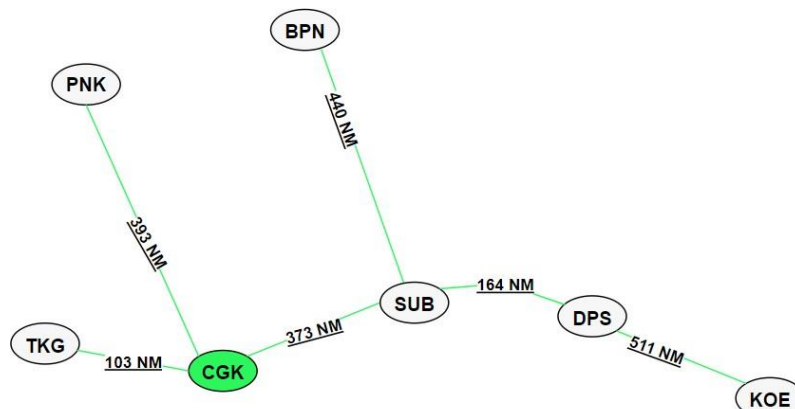


**Gambar 14** Jaringan *Spanning Tree* pada Hub Bandara Surabaya

Pada Gambar 14 dilakukan percobaan kedua pada Bandara Surabaya sebagai Hub dan dihasilkan jarak optimum sebagai berikut:

$$\text{SUB-DPS-KOE-CGK-TKG-PNK-BPN} (164+511+373+103+393+678) = 2,223 \text{ NM.}$$

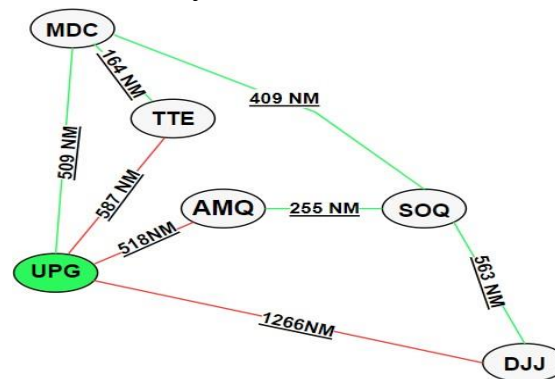
Dengan dilakukannya 2 percobaan jaringan wilayah Barat pada bandara Jakarta dan Surabaya didapatkan jarak yang paling optimal pada wilayah tengah bandara Jakarta sebagai Hub dengan bobot jarak sebesar 1,984 NM lebih kecil dibandingkan Bandara Surabaya dengan bobot jarak sebesar 2,223 NM.





**Gambar 15** Jaringan *Spanning Tree* Bandara Jakarta

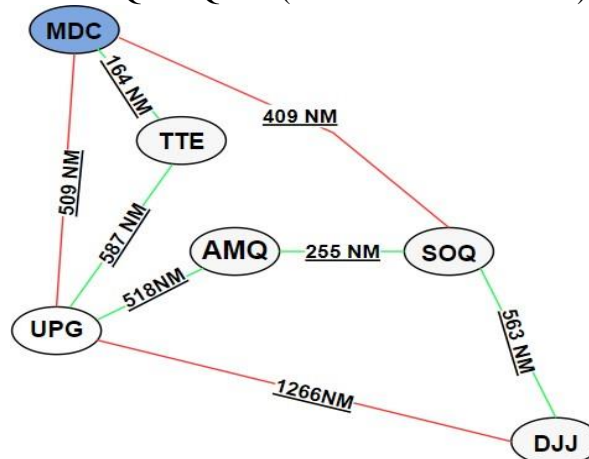
### 3.4 Analisis Spaning Tree Pada Wilayah Timur



**Gambar 16** Jaringan Spaning Tree Pada Hub Bandara Makassar

Pada Gambar 16 dilakukan percobaan analisis Spanning Tree dengan menjadikan bandara Makassar sebagai Hub dan dihasilkan jarak optimum pada bandara Makassar sebagai berikut:

$$\text{UPG-MDC-TTE-SOQ-AMQ-DJJ } (509+164+409+255+563) = 1,900 \text{ NM.}$$



**Gambar 17** Jaringan Spaning Tree Pada Hub Bandara Manado

Pada Gambar 17 dilakukan percobaan kedua pada Bandara Manado sebagai Hub dan dihasilkan jarak optimum sebagai berikut:

$$\text{MDC-TTE-UPG-AMQ-SOQ-DJJ } (164+587+518+255+563) = 2,087 \text{ NM.}$$

Dengan dilakukannya 2 percobaan jaringan wilayah Barat pada bandara Makassar dan Manado didapatkan jarak yang paling optimal pada wilayah timur bandara Makassar sebagai Hub dengan bobot jarak sebesar 1,900 NM lebih kecil dibandingkan Bandara Manado dengan bobot jarak sebesar 2,087 NM. Dari hasil tersebut bandara Batam, Jakarta dan Makassar yang paling optimal sebagai Hub pada maskapai x berdasarkan metode spanning tree.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan, maka didapatkan kesimpulan:

Pada 20 bandara tersebut dihasilkan jaringan maintenance station pada bandara BTJ, KOE dan DJJ dimana 3 bandara tersebut terletak pada sisi ujung setiap wilayah dan didapatkan 40 sisi rute jaringan pada waypoint bandara-bandara tersebut, dengan menggunakan aplikasi *Sky vector* untuk mengetahui jarak setiap jaringan bandara tersebut.

Dengan menggunakan metode Minimum Spanning Tree dihasilkan jarak yang optimal pada setiap wilayah sebagai berikut:

- a. Wilayah barat dengan kode bandara BTH-PKU-PDG-KNO- BTJ-PGK-PLM didapat total jarak yang optimal sebesar 1,109 NM.

b. Wilayah Tengah dengan kode bandara CGK-TKG-PNK-SUB- BPN-DPS-KOE didapat total jarak yang optimal sebesar 1,984 NM.

c. Wilayah Timur dengan kode bandara UPG-MDC-TTE-SOQ- AMQ-DJJ didapat total jarak sebesar 1,900 NM,

Maka dihasilkan 3 yang optimal sebagai Hub Maintenance NDT yaitu Bandara Batam, Jakarta, Makassar sebagai Hub.

## UCAPAN TERIMA KASIH

puji syukur penulis ucapkan kepada Allah *Subhanahu wa Ta'alla* atasrahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulisan dapat menyelesaikan ini berkat dukungan, bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] GMF Aeroasia, "Peran NDT dalam Perawatan Pesawat, Quality Assurance & Safety," Tangerang, Nov. 2010.
- [2] SKYbrary Aviation Safety, "Pengertian Maintenance Program," [Online]. Available: [https://www.skybrary.aero/index.php/maintenance\\_programme](https://www.skybrary.aero/index.php/maintenance_programme). [Accessed: Nov. 15, 2023].
- [3] W. T. Utami, "Analisis Penerapan Usia Batas Pesawat Cessna 402B Untuk Transport Category," Skripsi, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta, Indonesia, 2016.
- [4] Double M Aviation, "Perawatan Pesawat Terjadwal dan Tidak Terjadwal," [Online]. Available: <https://doublemaviation.com/aircraft-maintenance/>. [Accessed: Nov. 15, 2023].
- [5] FAA, "Aviation Maintenance Technician Handbook," USA, 2008.
- [6] Irwansyah, "Deteksi Cacat Pada Material Dengan Teknik Pengujian Tidak Merusak," Jurnal Teknik, vol. 2, Universitas Pramita Tangerang, 2019.
- [7] Direktorat Jendral Perhubungan Udara, "Penentuan hub and spoke Tergantung Demand," [Online]. Available: <https://dephub.go.id/post/read/PENENTUAN-HUB-SPOKE-TERGANTUNG-DEMAND1353>. [Accessed: Nov. 15, 2023].
- [8] A. Rahmawati, "Minimum Spanning Tree Pada Jaringan Pendistribusian Aneka Kripik Abdi Mulya di Kabupaten Grobogan," Jurnal Matematika, Universitas Negeri Semarang, 2015.