

**PENYEIMBANGAN LINI PERAKITAN UNTUK MENGURANGI *IDLE TIME* PADA
PRODUK *NOSE FUSELAGE STRUCTURE* DI PT DIRGANTARA INDONESIA
MENGUNAKAN METODE *MIXED INTEGER PROGRAMMING***

***ASSEMBLY LINE BALANCING TO REDUCE IDLE TIME IN NOSE FUSELAGE
STRUCTURE AT PT DIRGANTARA INDONESIA USING MIXED INTEGER
PROGRAMMING METHOD***

Intan Hayyu Rana Muna¹, Dida Diah Damayanti², Murni Dwi Astuti³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹intanhrm@gmail.com, ²didadiah@telkomuniversity.com, ³murnidwiasuti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Perkembangan dunia industri yang semakin melaju pesat ditambah dengan persaingan dalam pemenuhan permintaan konsumen membuat perusahaan-perusahaan yang bergerak dalam industri penerbangan terus melakukan perbaikan. Pesawat jenis NC212 merupakan salah satu pesawat dengan jenis pesawat baling-baling yang diproduksi oleh PT Dirgantara Indonesia. Berdasarkan hasil observasi kondisi aktual, memiliki permintaan sebanyak 6 unit per tahun, namun hasil produksi masih belum dapat mencapai target. Pada Divisi Component Assembly NC212 menangani aktivitas kritis, salah satunya perakitan nose fuselage structure. Pada proses perakitan nose fuselage structure terdapat tiga stasiun kerja dengan perbedaan waktu stasiun yang signifikan dari setiap stasiun kerjanya, yaitu jig B1 sebesar 598 jam, jig B2 sebesar 119,99 jam dan jig B3 sebesar 399,61 jam. Maka dapat dikatakan alokasi dari elemen kerja dan operator pada proses perakitan tidak merata. Selain itu, terdapat ketidaksesuaian waktu stasiun dengan takt time dari produk nose fuselage structure yang mengindikasikan adanya perbedaan output pada masing-masing stasiun kerja yang akan mempengaruhi tingkat kelancaran suatu lini perakitan. Dalam menyelesaikan permasalahan tersebut, dibutuhkan proses penyeimbangan lintasan perakitan dan mengurangi idle time pada setiap stasiun kerja menggunakan pendekatan Multi-manned Assembly Line Balancing Problem (MALBP). Penelitian ini menggunakan metode mixed integer programming dengan model pertama digunakan untuk mengurangi waktu siklus dan digunakan sebagai input untuk model kedua dalam menentukan jumlah operator optimal dan pengalokasian beban kerja yang seimbang. Permasalahan dapat diselesaikan dengan peningkatan line efficiency aktual sebesar 62,30% menjadi 75,33% dan menurunkan smoothness index sebesar 517,54 menjadi 155,51. Hasil usulan dari penyeimbangan lini perakitan nose fuselage structure menghasilkan lini perakitan yang lebih baik.

Kata kunci: *Assembly Line Balancing, Multi-manned Assembly Line Balancing Problem (MALBP), Mixed Integer Programming.*

Abstract

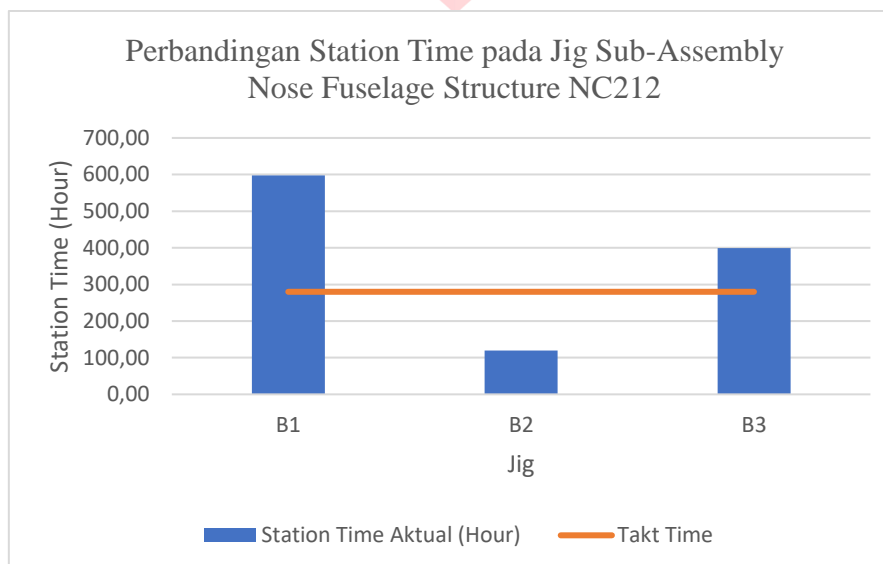
The fast-paced development of industrial world and the competition in meeting customer's demand have made the aviation companies continue to make improvement. NC212 is a one of the type propeller plane produced by PT Dirgantara Indonesia. However, based on this research observation of the actual condition, there is a demand for 6 units per year, but the production output has not met the expectation yet. NC212 Component Assembly Division handles critical activity, one of them being the nose fuselage structure assembly. There are three work stations in the assembly process with significant different time allocation, jig B1 of 598 hours, jig B2 of 119,99 hours and jig B3 of 399,61 hours. So it can be said that causing uneven work element and operator time allocation of the assembly. Furthermore, the research found station time incompatibility with the takt time of nose fuselage structure indicating output differences in each work station which further influence the success of an assembly line. The research finds that it needs balancing process in assembly line and minimizing idle time in every workstation using Multi-manned Assembly Line Balancing Problem (MALBP) approach. The research uses first model of mixed integrer programming to minimize cycle time and to be an input for second model to be further used for determining the appropriate number of operators and allocating fair workload. The problem is solved by increasing actual line efficiency from 62,30% to 75,33%, and decreasing the

smoothness index from 517,54 to 155,51. The proposed suggestion in balancing the nose fuselage structure assembly line results in better output.

Keywords: *Assembly Line Balancing, Multi-manned Assembly Line Balancing Problem (MALBP), Mixed Integer Programming.*

1. Pendahuluan

PT. Dirgantara Indonesia merupakan perusahaan industri pesawat terbang yang pertama dan satu-satunya di Indonesia. Perusahaan ini memproduksi pesawat dengan jenis pesawat CN235 dan NC212. Pesawat jenis NC212 merupakan salah satu pesawat dengan jenis pesawat baling-baling yang diproduksi oleh PT Dirgantara Indonesia. Divisi *Component Assembly* adalah salah satu divisi yang menangani aktivitas kritis dalam memproduksi NC212, yaitu merakit bagian *fuselage*, *wing*, *door*, dan *tail*. Alur proses produksi bagian *fuselage* dapat dibagi menjadi dua bagian *sub-assembly* besar, yaitu *union fuselage* dan *nose fuselage structure*. Komponen besar ini dapat terbagi kembali ke beberapa *sub-assembly*, namun pada realisasinya kondisi tersebut tidak terlaksana dengan baik, hal ini dapat terlihat dari adanya *jig* yang menganggur ketika seluruh operator bekerja dan lintasan perakitan yang masih belum mampu memenuhi target produksi. Dapat diketahui terdapat dua *sub-assembly* yang dikerjakan pada *jig* yang berbeda untuk merakit *nose fuselage structure*. Pada setiap *jig* tersebut memiliki beberapa elemen kerja yang dikerjakan oleh beberapa operator. Data *cycle time* untuk perakitan *sub-assembly* komponen *nose fuselage structure* dapat diamati pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Perbandingan *Station Time* pada *Jig Sub-Assembly Nose Fuselage Structure NC212*

Berdasarkan data grafik pada Gambar 1.1 dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan jumlah *output* yang dihasilkan setiap *jig* dalam proses pemenuhan permintaan dan ketidakmerataan alokasi beban kerja pada operator ke setiap elemen kerja. Adanya *station time* yang terlalu tinggi melebihi *takt time* jika dibandingkan dengan *station time* lainnya ini akan menyebabkan adanya *idle time* pada masing-masing *jig*. Tabel 1.1 merupakan *idle time* pada masing-masing *jig*.

Tabel 1.1 *Idle Time* Masing-masing *Jig Nose Fuselage Structure NC212*

No	Jig	Assembly Name	Station Time Aktual (Hour)	Idle Time (Hour)
1	B1	Nose Lower Panel Structure	598	0
2	B2	Nose Upper Panel Structure	119,99	478,01
3	B3	Nose Fuselage Structure	399,61	198,39

Berdasarkan Tabel 1.1 dapat diketahui bahwa alokasi beban kerja belum seimbang. Akibatnya, terdapat *bottleneck* pada lini perakitan tersebut dan menyebabkan penumpukan dari stasiun yang memiliki *station time* lebih cepat, hal ini ditandai *idle time* yang tinggi pada *sub-assembly* lainnya yang dapat mempengaruhi produktivitas dari lini perakitan. Sehingga tujuan dari penelitian ini yaitu, perlu dilakukan penyeimbangan dalam pengalokasian beban kerja untuk meminimasi *idle time*, yang digunakan untuk meningkatkan *line efficiency* dan *smoothness index* pada area perakitan tersebut.

2. Dasar Teori

2.1 Assembly Line Balancing

Assembly line balancing adalah serangkaian prosedur yang mendistribusikan tugas secara merata ke setiap stasiun kerja sehingga setiap stasiun kerja memiliki jumlah pekerjaan yang sama. Konsep *line balancing* bertujuan untuk menyeimbangkan beban kerja operator pada setiap stasiun kerja, mengurangi *idle time* dari *takt time* yang berarti berkurangnya kapasitas *idle time* stasiun kerja yang tidak digunakan.

2.2 Mixed Integer Programming (MIP)

Metode *Mixed Integer Programming* (MIP) merupakan metode optimasi bersyarat yang digunakan untuk mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk mencapai tujuan dengan tambahan persyaratan semua atau beberapa variabel bernilai *integer* (bulat positif atau nol). Terdapat 3 komponen dalam pemodelan MIP, yaitu :

1. Variabel keputusan adalah variabel yang menguraikan secara lengkap keputusan-keputusan yang akan dibuat.
2. Batasan model merupakan hubungan matematis linier dari variabel-variabel keputusan yang menunjukkan sumber daya tersedia yang akan dialokasikan secara optimal.
3. Fungsi tujuan adalah fungsi yang menggambarkan sasaran di dalam permasalahan Integer Programming yang berkaitan dengan pengaturan secara optimal sumber-sumber daya yang ada. Pada umumnya nilai yang dioptimalkan dinyatakan dengan Z.

2.3 Indikator Performansi Lini Perakitan

Analisis penyeimbangan lini perakitan yang dihasilkan dari metode *mixed integer programming*, yaitu:

1. Line Efficiency

Line efficiency merupakan tingkat efisiensi kerja pada suatu lini perakitan.

$$LE = \frac{\sum_{i=1}^k ST_i}{K \cdot CT} \times 100\%$$

2. Smoothness Index

Smoothness Index merupakan indek yang menunjukkan kelancaran relatif atau tingkat waktu tunggu relatif dari penyeimbangan lini perakitan.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^k (ST_i \max - ST)^2}$$

3. Pembahasan

3.1 Model Lini Perakitan

Model lini perakitan pada PT. Dirgantara Indonesia memiliki karakteristik *single model line* yaitu lini perakitan yang hanya memproduksi jenis produk yang sama.

Berikut merupakan karakteristik permasalahan keseimbangan lini perakitan, yaitu MALBP (*Multi-manned assembly line balancing problem*) yaitu permasalahan penyeimbangan lini perakitan yang memungkinkan menugaskan lebih dari satu operator pada masing-masing stasiun kerja.

Indikator performansi yang diukur adalah sebagai berikut:

- Line efficiency*.
- Smoothness Index*.
- Utilitas Operator.

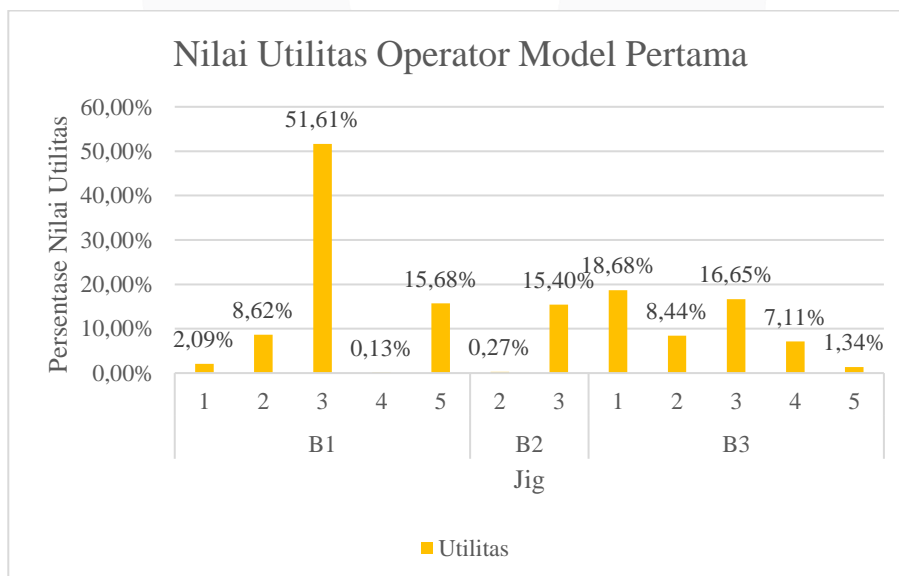
3.2 Keseimbangan Lini Perakitan Eksisting

Berikut merupakan informasi indeks performansi eksisting:

- Jumlah stasiun kerja perakitan aktual berjumlah 3 *jig* yang bersifat *independent*.
- Jumlah operator terdapat total 12 orang operator.
- Waktu stasiun lini perakitan sebesar 1117,6 jam, waktu siklus terbesar sebesar 598 jam, *idle time* sebesar 676,4 jam, dan kapasitas produksi sebesar 3 unit/tahun.
- Line efficiency* lini perakitan sebesar 62,30% dan *smoothness index* sebesar 517,54.

3.3 Perhitungan Model Pertama

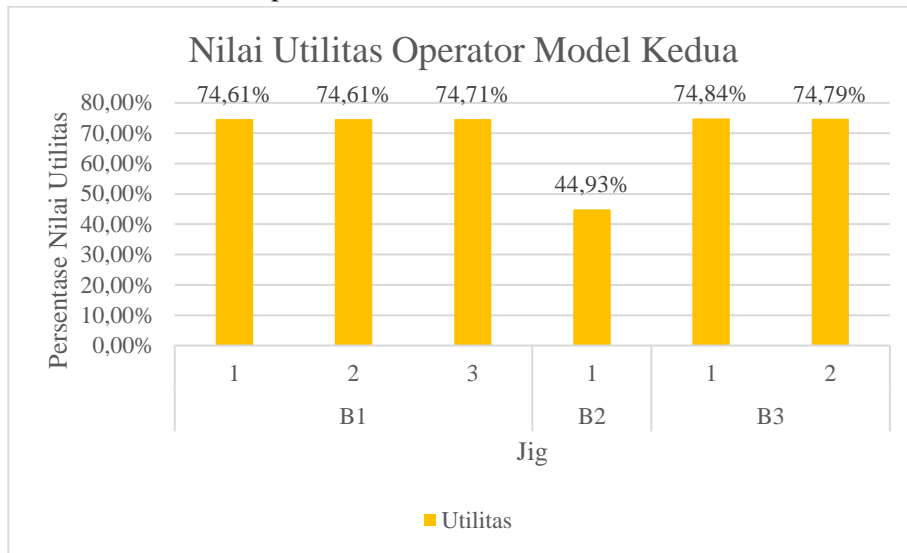
Model pertama menggunakan metode *mixed integer programming* dalam melakukan pengalokasian elemen kerja kedalam stasiun kerja yang digunakan untuk menurunkan waktu siklus dan jumlah operator dengan *software* IBM ILOG CPLEX Optimization 12.9.0. Data yang digunakan dalam proses komputasi ini antara lain, data stasiun kerja (*jig*) *nose fuselage structure* NC212, data elemen kerja, data waktu historis untuk setiap elemen kerja, jumlah pekerja maksimum disetiap *jig*, data pekerja yang tersedia, serta data *precedence diagram*. Setiap elemen kerja dalam satu *jig* memiliki urutan pengerjaan yang seri. Selain itu, perhitungan nilai utilitas operator dilakukan pada seluruh stasiun kerja. Nilai utilitas digunakan untuk mengetahui daya guna dari penugasan operator ke elemen kerjanya. Operator digolongkan ke dalam beberapa kategori nilai utilitas, utilitas tinggi jika di atas 70%, utilitas sedang jika berada di rentang 50-70% dan utilitas rendah kurang dari 50%. Hasil pada model pertama, hanya terdapat 1 *jig* yang memiliki utilitas tinggi, sedangkan lainnya memiliki utilitas rendah dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Nilai Utilitas Operator Model Pertama

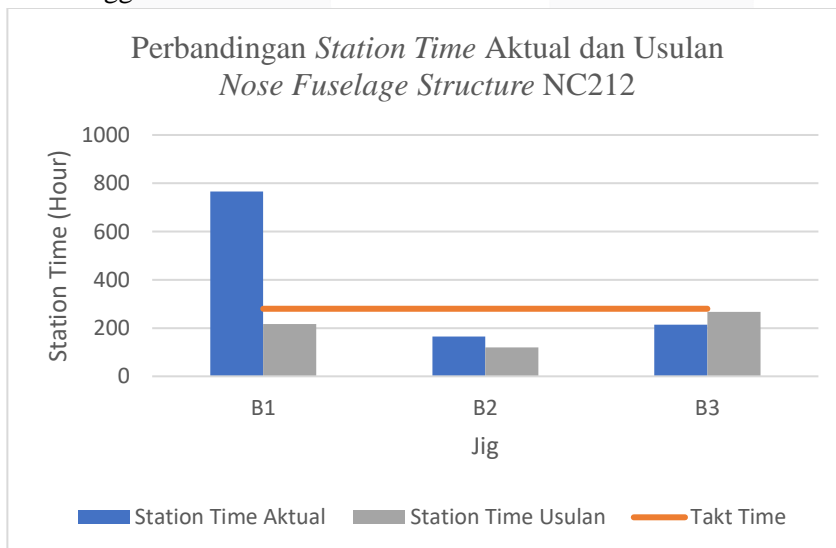
3.4 Perhitungan Model Kedua

Selanjutnya, model kedua merupakan prosedur lanjutan yang digunakan untuk menyeimbangkan lini perakitan pada perakitan nose fuselage structure NC212. Pada perolehan hasil komputasi menggunakan IBM ILOG CPLEX Optimization 12.9.0, terdapat penurunan waktu siklus namun beban kerja dalam pengalokasian operator masih terjadi ketidakseimbangan. Maka dari itu, hasil minimasi waktu stasiun optimal pada model pertama akan digunakan sebagai paramater tambahan dalam pengembangan model kedua dapat dilihat hasil perhitungan nilai utilitas operator model kedua pada grafik Gambar 3.2 dan didapatkan waktu stasiun usulan seperti Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.2 Nilai Utilitas Operator Model Kedua

Setelah dilakukan perhitungan pada model kedua yang dapat dilihat pada grafik Gambar 3.2, didapatkan hanya ada 1 jig yang memiliki nilai utilitas operator rendah, sedangkan lainnya memiliki operator dengan nilai utilitas tinggi.



Gambar 3.3 Perbandingan Station Time Aktual dan Usulan Nose Fuselage Structure NC212

Dengan analisis hasil komputasi penyeimbangan lini perakitan usulan sebagai berikut:

1. Jumlah operator lini perakitan usulan menjadi berjumlah 6 orang.
2. Perhitungan indeks performansi lini perakitan usulan diperoleh *line efficiency* lini perakitan usulan adalah sebesar 75,33% dengan *smoothness index* sebesar 155,51. Selain itu, mampu menurunkan *idle time* menjadi sebesar 197,61 jam.

4. Kesimpulan

Dengan adanya pengalokasian operator ke elemen kerja pada setiap *jig* pada lini perakitan *nose fuselage structure* didapatkan waktu stasiun yang optimal dengan indeks performansi lini perakitan usulan yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi aktual. Perbandingan indeks performansi aktual dan usulan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Indeks Performansi Lini Perakitan Aktual dan Usulan

Keterangan	Aktual	Usulan
<i>Available Time</i> (jam/tahun)	1680	1680
<i>Demand</i> (unit)	6	6
<i>Cycle Time</i> (jam)	1117,6	603,54
<i>Idle Time</i> (jam)	676,4	197,61
Waktu Siklus Terbesar (jam)	598	267,05
Jumlah Operator	12	6
Jumlah Stasiun Kerja	3	3
Kapasitas Produksi (unit/tahun)	2	6
<i>Line Efficiency</i>	62,30%	75,33%
<i>Smoothness Index</i>	517,54	155,51

Daftar Pustaka

- Davide Giglio, M. P. (2017). Multi-manned Assembly Line Balancing Problem with Skilled Workers : A New Mathematical Formulation.
- Kriengkarakot, N., & Pianthong, N. (2007). The Assembly Line Balancing Problem : Review articles. *KKU Engineering Journal* , 133 - 140.
- Marulizar, T. (2018). Optimasi Program Linear Integer Murni dengan Metode Branch and Bound. *Talenta Conference Series : Science & Technology*.
- Raja, R. (2015). Assembly Line Design and Balancing 6.
- Yilmaz, H. Y. (2015). Multi-manned Assembly Line Balancing Problem with Balanced Load Density. *Assembly Automation Emerald Group Publishing Limited.*, 137 - 142.
- Yilmaz, H. Y. (2016). A Multi-manned Assembly Line Balancing Problem with Classified Teams: a New Approach. *Assembly Automation Emerald Group Publishing Limited*.

Lampiran

Lampiran 1 Precedence Diagram

Nose Lower Panel Structure

No	Task Name	Duration (Hours)	Precedence
1	REMARK	1	-
2	CHECK IDENTIFICATION AND CONDITION PART	1	1
3	INSTALL FRAMES AND SPARS ON JIG	66	1
4	INSPECTION AND FINAL INSP. STRUCTURE	1	1
5	INSTALL PARTITION WALLS BETWEEN FR 7 AND FR 10	78	2
6	INSTALL LOWER GATE FRAME	18	4
7	ASSEMBLE BOTTOM SECTION AND PARTITION WALLS	86	6
8	INSTALL FLOOR PROFILES BETWEEN FR 4 AND FR 7 , LHS	16	3
9	INSTALL FLOOR PROFILES BETWEEN FR 4 AND FR 7 , RHS	16	5
10	INSTALL SHEET ON CENTER AREA BETWEEN FR 5 AND FR 6	16	8
11	DRILL HOLES ON THE SHEET AND THE PROFILES OF THE FLOOR BETWEEN FR 4 AND FR 7	13	9
12	LOWER STRINGER BETWEEN FR 3 AND PLATE OF THE JIG IN FR 1F	58	7
13	INSTALL STRINGER ON RHS AREA	16	10
14	INSTALL STRINGER ON LHS AREA	16	11
15	INSTALL LOWER WINDSHIELD AREA	26	13
16	INSTALL LOWER SKINS BETWEEN FR 3 AND FR 7	81,25	14
17	INSTALL LOWER SKINS BETWEEN FR 7 AND FR 1F	29	12
18	SEALANT SHOP	1,5	17
19	PREPARATION AND FASTENING WITH RIVET OF LOWER SKIN BETWEEN FR 3 AND FR 7	13	15
20	SEALANT SHOP	1	16
21	PREPARATION AND FASTENING WITH RIVET OF LOWER SKIN BETWEEN FR 7 AND FR 1F	19,5	19
22	INSTALL AND FASTEN THE SUPPORT - JACKING POINT WITH RIVETS	6,5	20

23	INSTALL AND RIVET THE ANGLES ASSY	6,5	21
24	REMOVE NOSE LOWER PANEL ASSEMBLY FROM JIG AND DEBUR PERFECTLY	1	22
25	PAINTING SHOP	2	23
26	PAINTING SHOP	0,75	24
27	IDENTIFICATION	0,5	25
28	INSPECTION AND FINAL INSP. STRUCTURE	1	26
29	INSPECTION AND FINAL INSP. STRUCTURE	6,5	27
TOTAL		598	

Nose Upper Panel Structure

No	Task Name	Duration (Hours)	Precedence
1	REMARK	0,1	-
2	CHECK IDENTIFICATION	2	1
3	PLACE & CLAMPS THE FORMES	18	2
4	INSTALL ON THE TOOL UPPER FRAMES	12	3
5	DRILL HOLES	18	4
6	TRACE THE LOCATION OF THE HOLE	8	5
7	PLACE THE FOLLOWING SKIN ON THE AREA BETWEEN FR 7 & FR 1F	26	6
8	DISASSEMBLE SKIN	13	7
9	SEALANT SHOP	4	8
10	SEALANT SHOP	4,8	9
11	REMOVE CLAMPING	3	10
12	PAINTING SHOP	3,94	11
13	INSPECTION AND FINAL INSPECTION STRUCTURE	0,25	12
14	PAINTING SHOP	4	13
15	INSPECTION PAINTING	0,05	14
16	IDENTIFICATION	0,1	15
17	INSPECTION AND FINAL INSPECTION STRUCTURE	0,25	16

18	FOD	2	17
19	INSPECTION AND FINAL INSPECTION STRUCTURE	0,5	18
TOTAL		119,99	

Nose Fuselage Structure

No	Task Name	Duration (Hour)	Predecessor
1	INSTALL BOTTOM FORWARD SECTION SPAR & FO	16	-
2	WINSHIELD INSTALLATION	14	1
3	LOWER WINSHIELD SEC INSTALLATION	12	1
4	INSTALL STR 21 RH LATERAL	6,5	2, 3
5	INSTL STRINGER FR7 AND FR1F RH SIDE	6,5	4
6	INSTL STR S10, 14, 18 RH SIDE	10	4
7	INSTL STR 21 LH SIDE AREA	6,5	4, 5, 6
8	INSTL STRINGER FR7 AND FR1F LH SIDE	6,5	7
9	INSTL STR S10, 14, 18 LH SIDE	9	7
10	INSTL LH SIDE DOOR FRAME	12	7, 8, 9
11	INSTL RH SIDE DOOR FRAME	12	10
12	CHECKING FRAME DOOR BY CLCO	0,33	11
13	DRILL STRINGER	0,58	12
14	CEILING INSTL & WINSHIELD FRAME	26	13
15	MIXING SEALANT	0,58	16
16	RIVETING CEILING AND FR7 TO THE WINSHIELD	12	17, 14
17	INSTL SKIN UPPER FR3 AND ASSY 212-21356	18	13
18	MIXING SEALANT	0,5	20
19	RIVETING SKIN UPPER FR3 AND ASSY 212-21356	12	18
20	INSTL LH LATERAL SKIN	16	16, 15, 19
21	MIXING SEALANT	0,5	22
22	RIVETING LH LATERAL SKIN	16	44, 43

23	INSTL RH LATERAL SKIN	16	20
24	MIXING SEALANT	0,58	22, 21, 23, 25, 26, 47, 48, 49, 50
25	RIVETING RH LATERAL SKIN	4,66	22
26	LEVELING POINT	5	24
27	REMOVE FORWARD FUSELAGE FROM JIG	5	26
28	INSTALL BUSHING NLG ARE	6	22
29	INSTALL GUSSET	16	22
30	IDENTIFY	3,25	27
31	INSTALL & RIVET UPPER EMERGENCY DOOR EXIT LO	3,33	30
32	CHECKING EMERGENCY WITH CLCO	3	38, 36, 40
33	INSTALL & RIVET UPPER EMERGENCY HATCH	13	32
34	PAINTING BY ALODINE	1,5	32
35	PAINTING BY PRIMER	1,5	34
36	FINAL INSTALL ON FITT & NUTS BETWEEN FR4 A	1,83	31
37	MIXING SEALANT	0,58	35
38	INSTALL HINGE FITT PILOT DOOR	10,83	31
39	CHECKING CONTOUR	0,58	37
40	INSTALL STEP	5,33	31
41	INSTALL PART ON WINSHIELD ON FR7	9	39
42	INSTALL TRIANGLE & WALL FR5 & FR7	9	41
43	INSTALL FORWARD LH LATERAL BOX	18	20
44	INSTALL FORWARD RH LATERAL BOX	18	20, 18
45	INSTALL WINSHIELD SLIDES	9	42
46	INSTALL & DRILL LATERAL FLOOR	9	45
47	INSTALL NUT & SECURING FLOOR FR7 AND FR1F	6	22
48	INSTALL HAND PUMP SUPPORT RH SIDE	5,58	22
49	INSTALL COVER ASSY 212-21312.1	1,08	22
50	INSTALL COVER ASSY 212-21374.3	1	22
51	SEALING	1,83	46
52	PAINTINGS	0,33	51

53	IDENTIFY	0,33	52
TOTAL		399,61	

