

## **BAB III**

### **BAHAN DAN METODE**

#### **3.1 Pendahuluan**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai bahan atau data yang akan digunakan, yaitu data sekunder dari angket bulan Maret-Mei tahun 2015. Angket tersebut merupakan hasil pengukuran dari beberapa variabel atau karakteristik mutu kulit pesawat yang diproduksi oleh PT. Dirgantara Indonesia. Sedangkan metode yang akan digunakan seperti yang sudah dibahas pada bab sebelumnya yaitu dengan menggunakan metode t-bootstrap untuk membentuk diagram kendali *minimax* multivariat.

#### **3.2 Bahan**

Pada skripsi ini data yang akan digunakan yaitu data sekunder mengenai karakteristik mutu kulit pesawat yang diproduksi oleh PT. Dirgantara Indonesia dari bulan Maret-Mei tahun 2015. Material yang digunakan yaitu seri 2014 (Al-Cu) dengan ketebalan 1,6 mm. Kandungan material seri 2014 merupakan campuran antara alumunium dan tembaga serta sejumlah kecil elemen lain juga ditambahkan pada seri ini. Penambahan tembaga meningkatkan kekerasan tetapi menurunkan ketahanan terhadap korosi. Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlakukan panas. Melalui pengerasan endap atau penyepuhan, sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak. Untuk alumunium seri 2014 diaplikasikan di *skin* karena sifatnya yang ulet. Meskipun kekuatannya relatif rendah namun alumunium seri ini dapat ditempatkan di beban dinamis sehingga mampu menerima getaran. Sedangkan ukuran sampel yang akan diteliti sebanyak 57, dan variabel yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak lima variabel dengan tiga pengujian, yang terdiri dari :

##### **1. Pengujian Tarik**

Kekuatan tarik merupakan sifat mekanis yang sangat penting dari logam, dimana sifat mekanis dari logam dapat ditentukan dengan pengujian tarik. Uji kekuatan tarik menggunakan mesin Instron tipe 8501 dengan kapasitas pembebanan maksimum 10.000 kg. Pada saat ini pengujian tersebut digunakan secara luas untuk

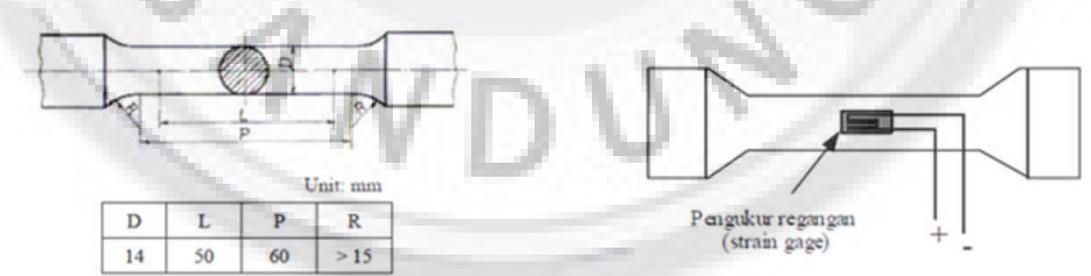
menentukan informasi-informasi dasar dari bahan dan telah diterima sebagai cara pengujian untuk menentukan spesifikasi dari material.



**Gambar 3.1**

Alat Uji Tarik Instron

Pada percobaan tarik, suatu spesimen yang dibuat merupakan bahan percobaan dengan penambahan gaya tarik aksial secara kontinu, sementara secara bersama-sama diadakan pengamatan terhadap perpanjangan dari spesimen tersebut. Guna memudahkan pengukuran dan perhitungan, maka dibuat standar ukuran dari spesimen yang sesuai dengan bentuk dan ukuran bahan asalnya. Dengan cara ini penentuan pembebanan akan dapat lebih mudah menentukan perkiraan besarnya. Ukuran spesimen ini diatur sedemikian rupa agar seluruh penampang mengalami pembebanan yang merata dan teratur. Beberapa ukuran benda uji yang dilakukan pada percobaan dapat dilihat dalam gambar dibawah ini :



**Gambar 3.2**

Dimensi Spesimen Uji Tarik (ASTM E8)

Beberapa variabel yang akan diuji dari pengujian tarik terdapat 3 variabel, diantaranya :

### A. *Tensile Strength* atau Kekuatan Tarik ( $kg/mm^2$ )

Sebuah batang uji ditarik pada mesin tarik sampai putus, batang uji sebelumnya diberi tanda dahulu supaya dapat diukur jarak sebelum dan sesudah ditarik (*gauge marks*). Kekuatan tarik merupakan beban maksimum dari kekuatan logam dibagi dengan luas penampang. Nilai *tensile strength* yang sudah ditetapkan oleh PT. Dirgantara Indonesia yaitu sebesar 420 mPa. *Tensile Strength* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$(\sigma_u) = \frac{(P_{mak})}{(A_0)} \quad \dots(3.1)$$

Dimana :  $\sigma_u$  = Kekuatan tarik

$P_{mak}$  = Beban maksimum selama pengujian tarik (kg)

$A_0$  = Luas penampang spesimen ( $mm^2$ )

### B. *Yield Strength* atau Kekuatan Luluh ( $kg/mm^2$ )

*Yield strength* adalah batas atau titik dimana terjadi perubahan deformasi elastis ke deformasi plastis. Bisa didefinisikan juga sebagai beban yang tergantung pada penambahan panjang yang kecil sekali (beban untuk penambahan panjang yang kecil) dibagi dengan penampang mula-mula dari spesimen. Nilai *yield strength* yang sudah ditetapkan oleh PT. Dirgantara Indonesia yaitu sebesar 345 mPa. *Yield strength* dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} (kg/mm^2) \quad \dots(3.2)$$

Dimana:  $\sigma_y$  = Kekuatan luluh

$F_y$  = Beban untuk penambahan panjang yang kecil (kg)

$A_0$  = Luas penampang mula-mula ( $mm^2$ )

### C. *Elongation* atau Perpanjangan (%)

*Elongation* merupakan perpanjangan benda uji atau spesimen setelah putus. Nilai *elongation* yang sudah ditetapkan oleh PT. Dirgantara Indonesia yaitu sebesar 7% atau 0,07. Perpanjangan dapat dihitung dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \dots(3.3)$$

Dimana :  $\epsilon$  = Perpanjangan akibat tarik (%)

$L_1$  = Panjang yang diberi batas setelah mengalami tarikan sampai putus  
(mm)

$L_0$  = Panjang yang diberi batas mula-mula (mm)

## 2. Pengujian Kekerasan Rockwell atau *Hardness*

Prinsip umum dari pengujian kekerasan Rockwell adalah mengukur kemampuan material terhadap deformasi plastis ke arah penekanan dengan beban tertentu. Pemberian beban dan penekanan ke permukaan benda kerja dengan dua tahap, pembebanan tahap pertama disebut beban *minor* dan pembebanan tahap kedua disebut beban *mayor*. Beban *minor* dan beban *mayor* adalah beban total pengujian. Nilai kekerasan Rockwell merupakan kedalaman penekanan indenter pada pembebanan tertentu, nilai kekerasan Rockwell bisa dikorelasikan dengan sifat mekanik seperti kekuatan tarik keuletan dan ketahanan aus. Informasi nilai kekerasan suatu logam bisa dipakai untuk kontrol kualitas atau pemilihan material. Nilai *hardness* yang sudah ditetapkan oleh PT. Dirgantara Indonesia yaitu sebesar 140 Hv.



**Gambar 3.3**

Alat Uji Kekerasan Rockwell

Pada pengujian Rockwell beban awal adalah 10 kgf (98N). Total beban pengujian 60 kgf (598N), 100 kgf (981N) dan 50 kgf (471N). Pada superficial Rockwell beban awal 3 kgf (29N) dan beban total pengujian 15 kgf (147N), 30 kgf (294N) dan 45 kgf (441N). Indenter yang digunakan yaitu kerucut dan baja.

Verifikasi indenter kerucut adalah sebagai berikut :

- a) Kerucut intan sudut miring  $120^{\circ} \pm 0.05^{\circ}$
- b) Sumbu dari indenter intan dengan sumbu pemegang tidak boleh lebih dari 0.50mm.
- c) Radius dari sisi indenter rata-rata  $0.200^0 \pm 0.010^0$ mm

Sedangkan verifikasi indenter bola baja adalah sebagai berikut :

- a) Permukaan bola baja harus halus (polish) dan bebas dari cacat.
- b) Kekerasan indenter minimum 746 HV 10
- c) Toleransi dari diameter bola sebagai berikut :

**Tabel 3.1**

Toleransi Diameter Bola

Diameter Bola		Toleransi	
Inch	mm	Inch	mm
1/16	1,588	$\pm 0,0001$	$\pm 0,0025$
1/8	3,175	$\pm 0,0001$	$\pm 0,0025$
1/4	6,350	$\pm 0,0001$	$\pm 0,0025$
1/2	1,700	$\pm 0,0001$	$\pm 0,0025$

Sumber : PT. Dirgantara Indonesia

Dalam pengujian kekerasan Rockwell perlu dilakukan verifikasi mesin uji Rockwell dan Rockwell *superficial*. Verifikasi adalah prosedur untuk merekomendasikan bahwa mesin uji Rockwell layak untuk dipergunakan. Ada 2 kategori verifikasi yaitu :

- a) Verifikasi langsung, merupakan verifikasi lengkap terhadap beban, indenter dan pengukur kedalaman dilakukan ketika mesin baru digunakan.

**Tabel 3.2**

Toleransi Beban

No	Beban (kgf)	Toleransi (kgf)
1	10	$\pm 0,02$
2	60	$\pm 0,45$
3	100	$\pm 0,65$

No	Beban (kgf)	Toleransi (kgf)
4	150	$\pm 0,90$
5	3	$\pm 0,60$
6	15	$\pm 0,100$
7	30	$\pm 0,200$
8	45	$\pm 0,300$

Sumber : PT. Dirgantara Indonesia

- b) Verifikasi tidak langsung, merupakan metoda yang digunakan untuk menjamin operator dan mesin uji yang dipakai pengujian layak pakai. Lakukan pengujian pada lima titik, jika nilai yang didapat tidak keluar dari toleransi tiap tes blok maka mesin layak digunakan.

**Tabel 3.3**

*Range Kekerasan Tes Blok untuk Verifikasi*

Skala Rockwell	Batas Kekerasan
C	20-30
	35-55
	59-65
B	40-59
	60-79
	80-100
30N	40-50
	55-73
	75-80
30T	43-56
	57-70
	70 keatas

Sumber : PT. Dirgantara Indonesia

Perhitungan untuk verifikasi dihitung *repeatability* dan penyimpangannya. *Repeatability* yaitu selisih nilai pengukuran kekerasan dari lima kali pengujian pada kondisi yang sama ( $R5 - R1$ ).

**Tabel 3.4**

Nilai *Repeatability* Mesin yang Diijinkan

Nilai Kekerasan Tes Blok	<i>Repeatability</i> Mesin Uji Maksimum
<b>HRC</b>	
25-30	2,0
35-55	1,5
59-65	1,0
<b>HRB</b>	
40-59	2,5
60-79	2,0
80-100	2,0
<b>HR 30N</b>	
40-50	2,0
55-73	1,5
75-80	1,0
<b>HR 30 T</b>	
43-56	2,5
57-70	2,0
70 ke atas	2,0

Sumber : PT. Dirgantara Indonesia

Sedangkan nilai penyimpangan atau kesalahan dari mesin uji pada suatu kondisi verifikasi adalah

$$\bar{R} - R \quad \dots(3.4)$$

Dimana :  $\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_5}{5}$

R = nilai kekerasan nominal tes blok

Nilai kekerasan rata-rata dari lima kali pengujian tidak boleh menyimpang dari nilai dan toleransi yang terdapat pada tes blok. Toleransi dari standar tes blok sebagai berikut :

**Tabel 3.5**

Toleransi Nilai Kekerasan pada Nominal Tes Blok

Kekerasan Tes Blok	Toleransi Kekerasan
HRC 60-70	$\pm 0,5$
HRC 20-59,9	$\pm 1,0$
HRA 80 ke atas	$\pm 0,5$
HRA 60-80	$\pm 1,0$
HRB 45 ke atas	$\pm 0,7$
HRB 45 ke bawah	$\pm 1,0$
HRF 57-99,6	$\pm 1,0$
HR 15 N 90 ke atas	$\pm 0,1$
HR 15 N 69,4-90	$\pm 1,0$

Sumber : PT. Dirgantara Indonesia

### 3. Pengujian Konduktivitas atau *Conductivity*

Proses konduktivitas digunakan apabila terdapat hubungan antara kekerasan dengan pengujian tarik untuk memverifikasi suhu atau kondisi yang disebabkan oleh perlakuan panas dan keseragaman bahan paduan aluminium. Penyebabnya harus dicari jika perlakuan panas yang tidak benar atau dicurigai kerusakan termal. Dalam beberapa kasus, kemungkinan terdapat daerah penyalahgunaan mesin (*overheating*) terdeteksi secara visual oleh perubahan tekstur permukaan atau warna, terutama setelah anoda asam kromat telah terjadi sedikit cekungan. Konduktivitas bahan akan memiliki ketebalan minimum lebih besar dari 1.5mm. Sedangkan pada bagian mesin menunjukkan panjang (L-LT) melalui ketebalan pesawat, di mana langkah-langkah konduktivitas dibuat tidak memberikan variasi lebih dari 1,7% IACS per pesawat per bagian. Ketika pengujian konduktivitas, kelengkungan jari-jari tabung pada permukaan cekung  $\geq 500\text{mm}$ , sedangkan pada permukaan cembung  $\geq 125\text{mm}$ . Nilai *conductivity* yang sudah ditetapkan oleh PT. Dirgantara Indonesia yaitu sebesar 37-42% IACS.



**Gambar 3.4**

Alat Uji Konduktivitas

Hasil dari ketebalan bahan tidak akan mutlak hingga 1,6 mm. Saat menggunakan instrumen beroperasi pada frekuensi tetap 60 kHz, hasilnya akan dibandingkan dengan "batas konduktivitas" dari tabel. Nilai konduktivitas diukur dan harus dievaluasi sesuai tabel berikut:

**Tabel 3.6**

Rentang Konduktivitas dari Bahan

Jenis Paduan	Temper	Spesifikasi Bahan	Konduktivitas % IACS	
			Minimum	Maksimum
2014A	T651	L93, DTD	37	42
	T351, (T4 atau T42)	(DTD 5010)	31	34,5
	'0'		48,5	53
2024	T351, (T4)	L97, (L98), VAAS	29	32
	T651	554, ABM 1-1005	36	40
	'0'		45,5	49
6082	T651	L115	45,5	49,5
	T351		41	44
	'0'		52	56
7010	T7651	DTD 5120 <sup>3</sup> , ABM 3-	38,8 <sup>4</sup>	42
	T7451	1029 <sup>1.3</sup> , ABM 3-1030 <sup>1.3</sup>	40	43
	T351	DTD 5130 <sup>3</sup>	27	29
7050	T7651	ABM 3-1029 <sup>1.3</sup> , ABM	38,8 <sup>4</sup>	42
	T7451	3-1030 <sup>1.3</sup>	40	43
	T351		27	29

Jenis Paduan	Temper	Spesifikasi Bahan	Konduktivitas % IACS	
			Minimum	Maksimum
2618A	T651	ABM 1-10065, CM003	35	38
	T351		30	32,5
7075	Ramp aged	L95, DTD 5050	36	40
	T651		30	34
	T351		27	30
	T73/T7351		38	43
	'0'		44	48

Sumber: PT. Dirgantara Indonesia

Prosedur pemeriksaan umum konduktivitas sebagai berikut :

1. Menyiapkan Pemeriksaan
  - a) Verifikasi bagian / bahan permukaan pemeriksaan selesai Ra 150 atau lebih halus dan tidak terlihat ada minyak, kotoran atau kontaminan
  - b) Gunakan hanya instrumen yang bersertifikat
  - c) Tentukan nilai konduktivitas pemeriksaan bagian / bahan
  - d) Pilih standar acuan
  - e) Periksa suhu
2. Kalibrasi instrumen tes
  - a) Ikuti instruksi konduktivitas uji kalibrasi instrumen dari SIGMATEST
  - b) Kirim instrumen yang memenuhi syarat kalibrasi
3. Melakukan pemeriksaan
  - a) Verifikasi respon kalibrasi sebelum ke bagian produksi
  - b) Mendapatkan pembacaan konduktivitas dari pemeriksaan bagian/bahan
  - c) Periksa respon kalibrasi pada akhir pengujian setiap banyak bagian/bahan. Jika kalibrasi ditemukan tidak memuaskan, kembali memeriksa semua bagian/bahan diperiksa sejak terakhir kalibrasi
  - d) Catat hasil pada buku catatan yang sesuai

Berikut ini data hasil pengukuran karakteristik kulit pesawat airbus dengan ketebalan 1,6 mm dari bulan Maret-Mei tahun 2015 di PT. Dirgantara Indonesia, tersaji pada Tabel 3.7.

**Tabel 3.7**

Data Hasil Pengukuran Karakteristik Kulit Pesawat Airbus dengan Ketebalan 1,6 mm dari Bulan Maret-Mei Tahun 2015 di PT. Dirgantara Indonesia

Nomor	Variabel				
	Tensile Strength ( $kg/mm^2$ )	Yield Strength ( $kg/mm^2$ )	Elongation (%)	Hardness (HRA,HRB...)	Conductivity (% IACS)
1	444,732	395,498	9,859	149,650	40,320
2	450,892	392,248	11,129	150,500	40,598
3	451,702	395,078	11,371	150,100	40,470
4	450,955	394,573	11,717	150,950	40,693
5	456,085	404,470	10,850	150,950	40,795
6	466,345	397,295	11,900	150,500	40,140
7	467,975	405,370	11,585	150,500	40,475
8	467,940	400,435	11,405	150,100	40,250
9	462,765	397,600	11,165	149,650	40,530
10	458,285	393,235	10,870	150,500	40,575
11	452,670	384,350	12,235	150,500	39,950
12	450,665	397,775	11,580	150,950	40,270
13	470,075	410,995	10,890	150,500	40,165
14	452,495	383,380	12,295	150,500	40,260
15	458,005	394,925	12,135	150,950	39,708
16	455,400	402,435	12,195	150,100	40,160
17	452,375	391,120	11,525	150,950	40,040
18	451,160	397,505	10,840	150,500	40,693
19	462,195	392,150	12,325	150,950	39,385
20	455,105	386,700	11,195	150,500	40,360
21	468,935	410,990	11,495	150,500	40,140
22	470,035	414,870	11,325	150,950	40,010
23	471,460	418,510	11,430	150,500	40,105
24	465,970	407,155	12,225	150,950	39,975
25	455,445	405,280	11,725	150,500	39,873
26	455,755	399,580	11,475	150,950	40,460
27	456,555	407,605	11,475	150,950	41,010
28	460,140	410,505	11,180	150,100	40,615
29	457,515	402,190	11,080	149,650	40,713

Lanjutan

Nomor	Variabel				
	Tensile Strength ( $kg/mm^2$ )	Yield Strength ( $kg/mm^2$ )	Elongation (%)	Hardness (HRA,HRB...)	Conductivity (% IACS)
31	465,260	410,820	12,060	150,500	40,765
32	471,590	407,610	12,075	150,100	40,415
33	471,720	414,715	11,245	150,500	40,383
34	459,195	381,895	9,705	150,950	40,053
35	464,420	410,420	11,500	150,500	40,630
36	462,575	401,410	11,550	149,650	40,783
37	465,100	400,105	12,680	150,950	40,415
38	458,665	401,375	11,900	150,500	40,290
39	466,895	401,405	12,685	150,500	40,203
40	456,545	379,425	11,860	150,950	40,340
41	450,525	381,785	11,610	150,950	40,488
42	460,625	366,460	12,005	151,400	40,540
43	452,610	380,350	11,600	150,950	40,350
44	452,640	356,110	12,035	150,950	40,710
45	452,900	366,890	11,465	150,950	40,503
46	454,170	361,705	12,225	150,950	40,660
47	471,830	405,485	10,965	150,100	40,230
48	472,822	404,960	11,515	150,500	40,318
49	470,197	403,250	10,550	150,500	40,158
50	469,285	402,070	11,170	150,100	40,630
51	464,380	385,215	10,460	150,950	40,195
52	467,019	404,530	11,150	150,950	40,690
53	466,412	371,265	11,710	150,950	40,663
54	469,732	411,495	10,790	150,500	40,770
55	460,290	394,930	8,195	150,100	41,110
56	429,315	371,415	7,680	150,100	41,038
57	443,820	389,445	7,985	150,500	41,633

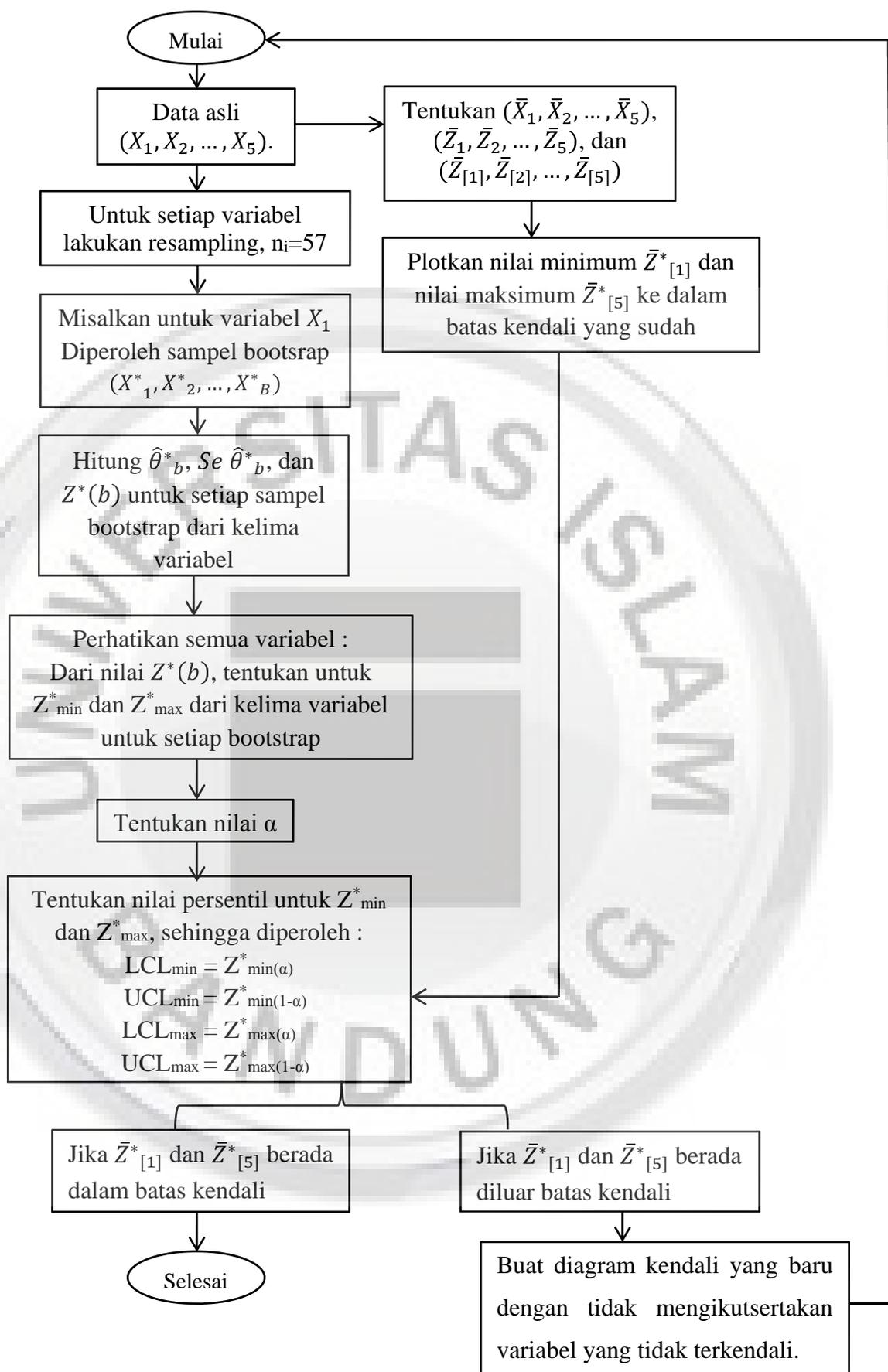
Sumber : PT. Dirgantara Indonesia

### 3.3 Metode

Langkah-langkah dalam menggunakan metode t-bootstrap untuk pembentukan diagram kendali *minimax* multivariat adalah sebagai berikut :

1. Amati 5 variabel dengan ukuran sampel masing-masing 57 buah.
2. Hitung rata-rata setiap variabel dari sampel asli  $(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_5)$ .
3. Tentukan  $(Z_{i1}, Z_{i2}, \dots, Z_{i5})$  menggunakan persamaan (2.5). Kemudian tentukan rata-rata  $\bar{Z}$  untuk setiap variabel sehingga akan terdapat  $(\bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \dots, \bar{Z}_5)$ . Selanjutnya susun nilai tersebut sehingga diperoleh nilai minimum  $\bar{Z}_{[1]}$  dan nilai maksimum  $\bar{Z}_{[5]}$ . Kedua nilai tersebut akan di plotkan ke dalam batas kendali *minimax*.
4. Tentukan sampel bootstrap  $\{(X_1^*, X_2^*, \dots, X_b^*), b = 1, 2, \dots, B\}$  yang diambil dengan pengembalian untuk setiap variabel dengan menggunakan software macro minitab.
5. Tentukan vektor rata-rata bootsrap dari 5 variabel yang diamati, sehingga diperoleh  $\{(\hat{\theta}^*_{i1}, \hat{\theta}^*_{i2}, \dots, \hat{\theta}^*_{iB}), i = 1, 2, \dots, 5\}$ . Kemudian tentukan rata-rata  $\bar{\theta}^*$ , menggunakan Persamaan (2.9).
6. Tentukan nilai Se ( $Se = \frac{SD}{\sqrt{n}}$ ) untuk setiap bootsrap dari 5 variabel yang diamati, sehingga diperoleh  $\{(Se^*_{i1}, Se^*_{i2}, \dots, Se^*_{iB}), i = 1, 2, \dots, 5\}$ .
7. Hitung nilai  $Z^*(b)$  untuk setiap bootsrap dari 5 variabel yang diamati, sehingga diperoleh  $\{(Z^*_{i1}, Z^*_{i2}, \dots, Z^*_{iB}), i = 1, 2, \dots, 5\}$ . Kemudian tentukan nilai  $Z^*_{\min}$  dan  $Z^*_{\max}$  untuk setiap bootsrap .
8. Dari nilai  $Z^*_{\min}$  dan  $Z^*_{\max}$  yang diperoleh dari langkah 7, susun dari nilai terkecil sampai nilai terbesar.
9. Tentukan nilai  $\alpha$ , untuk menentukan batas kendali.
10. Tentukan nilai persentil untuk  $Z^*_{\min}$  dan  $Z^*_{\max}$ , sehingga diperoleh :  
 $LCL_{\min} = Z^*_{\min(\alpha)}$  dan  $UCL_{\min} = Z^*_{\min(1-\alpha)}$   
 $LCL_{\max} = Z^*_{\max(\alpha)}$  dan  $UCL_{\max} = Z^*_{\max(1-\alpha)}$
11. Plotkan nilai minimum  $\bar{Z}_{[1]}$  dan nilai maksimum  $\bar{Z}_{[5]}$  ke dalam batas kendali yang sudah diperoleh dari langkah 10.
12. Jika  $\bar{Z}_{[1]}$  dan  $\bar{Z}_{[5]}$  berada dalam batas kendali maka kelima variabel tersebut berada dalam proses kendali. Apabila  $\bar{Z}_{[1]}$  atau  $\bar{Z}_{[5]}$  berada diluar batas kendali, maka harus membuat diagram kendali yang baru dengan tidak mengikutsertakan variabel yang tidak terkendali.

Langkah-langkah tersebut akan disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.5 sebagai berikut :



**Gambar 3.5**

Diagram Alir Metode Bootstrap untuk Diagram Kendali Minimax Multivariat