

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengukuran Ketebalan

Dari penelitian yang telah dilakukan, setelah melakukan pengukuran distribusi ketebalan dengan pemberian titik simpul sesuai dengan teori Akkerman, diperoleh data distribusi ketebalan dari produk yang telah mengalami perlakuan *vacuum forming*. Data tersebut dapat kita lihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.1. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 1

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,500	0,496	0,497	0,498
2	0,500	0,498	0,498	0,495
3	0,500	0,497	0,496	0,497
Σ	1,500	1,491	1,491	1,490
Rata-rata	0,500	0,497	0,497	0,497
Total Jumlah	5,972			

Tabel 4.2. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 2

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,497	0,495	0,485	0,482
2	0,498	0,489	0,482	0,485
3	0,496	0,491	0,485	0,483
Σ	1,491	1,475	1,452	1,450
Rata-rata	0,497	0,492	0,484	0,483
Total Jumlah	5,868			

Tabel 4.3. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 3

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,480	0,451	0,432	0,431
2	0,478	0,462	0,435	0,429
3	0,479	0,467	0,436	0,428
Σ	1,437	1,380	1,303	1,288
Rata-rata	0,479	0,460	0,434	0,429
Total Jumlah	5,408			

Tabel 4.4. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 4

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,333	0,332	0,331	0,327
2	0,331	0,330	0,330	0,329
3	0,331	0,331	0,330	0,328
Σ	0,995	0,993	0,991	0,984
Rata-rata	0,332	0,331	0,330	0,328
Total Jumlah	3,963			

Tabel 4.5. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 5

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,246	0,243	0,241	0,240
2	0,245	0,244	0,242	0,241
3	0,246	0,245	0,242	0,243
Σ	0,737	0,732	0,725	0,724
Rata-rata	0,246	0,244	0,242	0,241
Total Jumlah	2,918			

Tabel 4. 6. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 6

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,163	0,153	0,153	0,151
2	0,161	0,155	0,152	0,152
3	0,163	0,156	0,151	0,153
Σ	0,487	0,464	0,456	0,456
Rata-rata	0,162	0,155	0,152	0,152
Total Jumlah	1,863			

Tabel 4.7. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 7

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,071	0,038	0,039	0,038
2	0,072	0,040	0,030	0,031
3	0,073	0,040	0,038	0,028
Σ	0,216	0,118	0,107	0,097
Rata-rata	0,072	0,039	0,036	0,032
Total Jumlah	0,5382			

Tabel 4.8. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 8

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,059	0,049	0,049	0,049
2	0,058	0,050	0,048	0,047
3	0,061	0,050	0,047	0,048
Σ	0,178	0,149	0,144	0,144
Rata-rata	0,059	0,050	0,048	0,048
Total Jumlah	0,615			

Tabel 4.9. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 9

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,059	0,049	0,049	0,049
2	0,058	0,050	0,048	0,047
3	0,061	0,050	0,047	0,048
Σ	0,178	0,149	0,144	0,144
Rata-rata	0,059	0,050	0,048	0,048
Total Jumlah	0,615			

Tabel 4.10. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 10

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,064	0,060	0,061	0,059
2	0,064	0,063	0,062	0,058
3	0,062	0,061	0,060	0,059
Σ	0,190	0,184	0,183	0,176
Rata-rata	0,063	0,061	0,061	0,059
Total Jumlah	0,733			

Tabel 4.11. Data hasil pengukuran ketebalan pada titik simpul 11

Pengulangan	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
	Ketebalan (mm)			
1	0,071	0,067	0,068	0,068
2	0,070	0,069	0,066	0,064
3	0,072	0,070	0,064	0,065
Σ	0,213	0,206	0,198	0,197
Rata-rata	0,071	0,069	0,066	0,066
Total Jumlah	0,814			

4.2 Analisis Statistik

4.2.1 Analisis Statistik

Analisis statistik nilai ketebalan diambil salah satu contoh pada titik simpul 3 dengan waktu pemanasan 2,5 menit.

- Data rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{1,380}{3} \\ &= 0,460\end{aligned}$$

- Standar Deviasi

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{(0,451 - 0,460)^2 + (0,462 - 0,460)^2 + (0,467 - 0,460)^2}{3 - 1}} = 0,008\end{aligned}$$

- Standar Deviasi Rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{\delta} &= \frac{\delta}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{0,008}{\sqrt{3}} \\ &= 0,005\end{aligned}$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right]$$

$$\begin{aligned}db &= n - 1 \\ &= 3 - 1 = 2\end{aligned}$$

Dengan mengambil taraf nyata (α) sebesar 0,05 atau 5% dapat diketahui :

$$\begin{aligned}t(\alpha/2 ; db) &= t(0,025; 2) \\ &= 4,303\end{aligned}$$

(diambil dari tabel statistik titik-titik kritis sebaran t (satu ujung), Husaini Usman dan R. Purnomo Setiady Akbar : 306, 1995).

maka

$$0,460 - [(4,303)(0,005)] < \mu < 0,460 + [(4,303)(0,005)]$$

$$0,440 < \mu < 0,480$$

Jadi interval penduga ketebalan pada titik simpul 3 dengan waktu pemanasan 2,5 menit didapatkan 0,440 mm sampai 0,480 mm dengan tingkat keyakinan 95 %.

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, didapatkan interval penduga nilai ketebalan untuk setiap titik simpul yang berbeda-beda, kemudian disusun pada tabel seperti di bawah ini:

Tabel 4.12 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 1

Waktu Pemanasan	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,500	0	0	$0,500 < t < 0,500$
2.5 menit	0,497	0,001	$5,77 \times 10^{-4}$	$0,495 < t < 0,499$
3.0 menit	0,497	0,001	$5,77 \times 10^{-4}$	$0,495 < t < 0,499$
3.5 menit	0,497	0,002	$8,82 \times 10^{-4}$	$0,493 < t < 0,500$

Tabel 4.13 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 2

Waktu Pemanasan	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,497	0,001	0,001	$0,495 < t < 0,499$
2.5 menit	0,492	0,003	0,002	$0,484 < t < 0,499$
3.0 menit	0,484	0,002	0,001	$0,480 < t < 0,488$
3.5 menit	0,483	0,002	0,001	$0,480 < t < 0,487$

Tabel 4.14 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 3

Waktu Pemanasan	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,479	0,001	0,001	$0,477 < t < 0,481$
2.5 menit	0,460	0,008	0,005	$0,440 < t < 0,480$
3.0 menit	0,434	0,002	0,001	$0,429 < t < 0,440$
3.5 menit	0,429	0,002	0,001	$0,426 < t < 0,433$

Tabel 4.15 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 4

Waktu Pemanasan	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,332	0,001	0,001	$0,329 < t < 0,335$
2.5 menit	0,331	0,001	0,001	$0,329 < t < 0,333$
3.0 menit	0,330	0,001	0,0003	$0,329 < t < 0,332$
3.5 menit	0,328	0,001	0,001	$0,326 < t < 0,330$

Tabel 4.16 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 5

Waktu Pemanasan	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,246	0,001	0,0003	$0,244 < t < 0,247$
2.5 menit	0,244	0,001	0,001	$0,242 < t < 0,246$
3.0 menit	0,242	0,001	0,0003	$0,240 < t < 0,243$
3.5 menit	0,241	0,002	0,001	$0,238 < t < 0,245$

Tabel 4.17 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 6

Waktu Pemanasan	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,162	0,001	0,001	$0,159 < t < 0,165$
2.5 menit	0,155	0,002	0,001	$0,151 < t < 0,158$
3.0 menit	0,152	0,001	0,001	$0,150 < t < 0,154$
3.5 menit	0,152	0,001	0,001	$0,150 < t < 0,154$

Tabel 4.18 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 7

Waktu Pemanasan)	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,072	0,001	0,001	$0,069 < t < 0,075$
2.5 menit	0,039	0,001	0,001	$0,036 < t < 0,042$
3.0 menit	0,036	0,005	0,003	$0,023 < t < 0,048$
3.5 menit	0,032	0,005	0,003	$0,020 < t < 0,045$

Tabel 4.19 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 8

Temperatur Pembentukan (°C)	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,059	0,002	0,001	$0,056 < t < 0,063$
2.5 menit	0,050	0,001	0,0003	$0,048 < t < 0,051$
3.0 menit	0,048	0,001	0,001	$0,046 < t < 0,050$
3.5 menit	0,048	0,001	0,001	$0,050 < t < 0,050$

Tabel 4.20 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 9

Temperatur Pembentukan (°C)	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,059	0,002	0,001	$0,056 < t < 0,063$
2.5 menit	0,050	0,001	0,0003	$0,048 < t < 0,051$
3.0 menit	0,048	0,001	0,001	$0,046 < t < 0,050$
3.5 menit	0,048	0,001	0,001	$0,050 < t < 0,050$

Tabel 4.21 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 10

Temperatur Pembentukan (°C)	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,063	0,001	0,001	$0,060 < t < 0,066$
2.5 menit	0,061	0,002	0,001	$0,058 < t < 0,065$
3.0 menit	0,061	0,001	0,001	$0,059 < t < 0,063$
3.5 menit	0,059	0,001	0,0003	$0,057 < t < 0,060$

Tabel 4.22 Interval penduga nilai ketebalan pada titik simpul 11

Temperatur Pembentukan (°C)	Ketebalan Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga
2.0 menit	0,071	0,001	0,001	$0,069 < t < 0,073$
2.5 menit	0,069	0,002	0,001	$0,065 < t < 0,072$
3.0 menit	0,066	0,002	0,001	$0,061 < t < 0,071$
3.5 menit	0,066	0,002	0,001	$0,060 < t < 0,071$

4.2.2 Analisis Varian Satu Arah

Dari data hasil perhitungan di atas, dilakukan analisis statistik menggunakan analisa varian satu arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh temperatur cetakan terhadap nilai ketebalan pada setiap titik-titik simpul yang mewakili distribusi ketebalan *cup* produk hasil *vacuum forming*. Hipotesis yang digunakan pada analisis ini, yaitu :

$H_o : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (lama waktu pemanasan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap ketebalan titik simpul pada *cup*)

$H_o : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$ (lama waktu pemanasan memberikan pengaruh yang nyata terhadap ketebalan titik simpul pada *cup*)

Dengan mengacu pada data di atas dapat diketahui nilai

- n (jumlah pengulangan) = 3 kali
- k (jumlah variasi) = 4 variasi

- N (jumlah data yang diambil pada setiap titik simpul) = 12 data

Perhitungan varian satu arahnya sebagai berikut :

- Jumlah keseluruhan perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 Y_{ij} \\
 &= 0,071 + 0,070 + 0,072 + \dots + 0,064 + 0,065 \\
 &= 0,814
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2 = [0,814]^2 \\
 &= 0,663
 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (fk)

$$\begin{aligned}
 fk &= \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{nk} \\
 &= \frac{0,663}{3 \times 4} \\
 &= 0,055
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned}
 JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk \\
 &= (0,071)^2 + (0,070)^2 + \dots + (0,064)^2 + (0,065)^2 - 0,05495 \\
 &= 7,97 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{n} - fk \\
 &= \frac{(0,076 + 0,070 + 0,072)^2 + \dots + (0,068 + 0,064 + 0,065)^2}{3} - 0,055 \\
 &= \frac{0,166}{3} - 0,055 \\
 &= 5,63 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 7,97 \times 10^{-5} - 5,63 \times 10^{-5}$$

$$= 2,33 \times 10^{-5}$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1}$$

$$= \frac{5,63 \times 10^{-5}}{3}$$

$$= 1,88 \times 10^{-5}$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{N-k}$$

$$= \frac{2,33 \times 10^{-5}}{8}$$

$$= 2,92 \times 10^{-6}$$

- Sehingga F_{hitung} adalah

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

$$= \frac{1,88 \times 10^{-5}}{2,92 \times 10^{-6}}$$

$$= 6,438$$

Dengan menentukan tingkat kesalahan (α) sebesar 0,05 atau 5 %, maka untuk

$F_{tabel} (\alpha; k-1; N-k) = F_{tabel} (0,05; 3; 8)$ adalah 4,303

(diambil dari tabel statistik titik-titik kritis sebaran t(satu ujung), Husaini Usman dan R.

Purnomo Setiady Akbar:306,1995).

Tabel 4.23 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-1

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$2,2 \times 10^{-5}$	$7,33 \times 10^{-6}$	6,769	4,303
Galat	8	$8,7 \times 10^{-6}$	$8,97 \times 10^{-5}$		
Total	11	$3,07 \times 10^{-5}$	-	-	-

Dari tabel 4.23 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-1 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.24 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-2

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$3,85 \times 10^{-4}$	$1,28 \times 10^{-4}$	32,738	4,303
Galat	8	$3,1 \times 10^{-5}$	$3,92 \times 10^{-6}$		
Total	11	$4,16 \times 10^{-4}$	-	-	-

Dari tabel 4.24 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-2 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.25 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-3

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$4,84 \times 10^{-3}$	$1,61 \times 10^{-3}$	86,345	4,303
Galat	8	$1,49 \times 10^{-4}$	$1,87 \times 10^{-5}$		
Total	11	$4,98 \times 10^{-3}$	-	-	-

Dari tabel 4.25 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-3 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.26 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-4

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$2,29 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-4}$	8,333	4,303
Galat	8	$7,33 \times 10^{-6}$	$9,17 \times 10^{-7}$		
Total	11	$3,02 \times 10^{-5}$	-	-	-

Dari tabel 4.26 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-4 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.27 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-5

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$3,76 \times 10^{-5}$	$1,26 \times 10^{-5}$	12,556	4,303
Galat	8	8×10^{-6}	1×10^{-6}		
Total	11	$4,57 \times 10^{-5}$	-	-	-

Dari tabel 4.27 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-5 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.28 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-6

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$2,15 \times 10^{-4}$	$7,16 \times 10^{-5}$	50,568	4,303
Galat	8	$1,13 \times 10^{-5}$	$1,42 \times 10^{-6}$		
Total	11	$2,26 \times 10^{-4}$	-	-	-

Dari tabel 4.28 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-6 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.29 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-7

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$4,07 \times 10^{-4}$	$1,36 \times 10^{-4}$	45,213	4,303
Galat	8	$2,4 \times 10^{-5}$	3×10^{-6}		
Total	11	$4,31 \times 10^{-4}$	-	-	-

Dari tabel 4.29 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-7 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.30 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-8

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$2,67 \times 10^{-4}$	$8,89 \times 10^{-5}$	76,26	4,303
Galat	8	$9,33 \times 10^{-6}$	$1,17 \times 10^{-6}$		
Total	11	$2,76 \times 10^{-4}$	-	-	-

Dari tabel 4.30 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-8 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.31 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-9

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$2,67 \times 10^{-4}$	$8,89 \times 10^{-5}$	76,26	4,303
Galat	8	$9,33 \times 10^{-6}$	$1,17 \times 10^{-6}$		
Total	11	$2,76 \times 10^{-4}$	-	-	-

Dari tabel 4.31 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-9 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.32 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-10

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$3,29 \times 10^{-5}$	$1,09 \times 10^{-5}$	8,778	4,303
Galat	8	1×10^{-5}	$1,25 \times 10^{-6}$		
Total	11	$4,29 \times 10^{-5}$	-	-	-

Dari tabel 4.32 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara waktu pemanasan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-10 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.33 Analisis varian data ketebalan titik simpul ke-11

Sumber Varian	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	3	$5,63 \times 10^{-5}$	$1,88 \times 10^{-5}$	6,438	4,303
Galat	8	$2,33 \times 10^{-5}$	$2,92 \times 10^{-6}$		
Total	11	$7,97 \times 10^{-5}$	-	-	-

Dari tabel 4.33 terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara temperatur cetakan terhadap ketebalan produk pada titik simpul ke-11 dengan resiko kesalahan 5%.

Tabel 4.34 Menunjukkan data distribusi ketebalan rata – rata dari beberapa variasi waktu pemanasan.

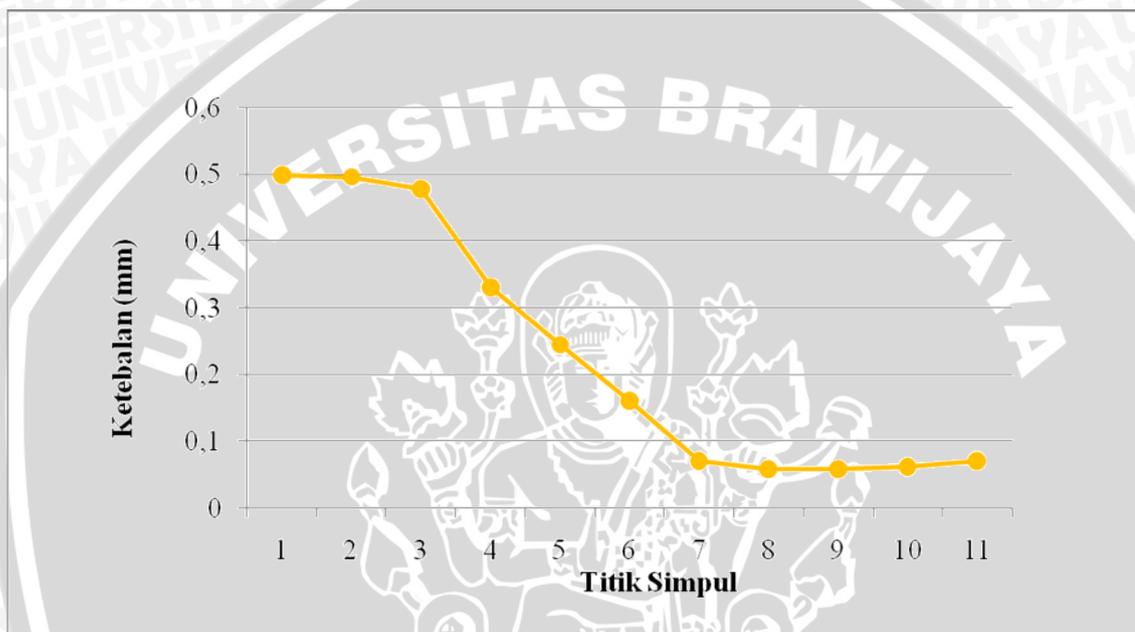
Titik Simpul	Waktu Pemanasan			
	2.0 menit	2.5 menit	3.0 menit	3.5 menit
Ketebalan (mm)				
1	0,500	0,497	0,497	0,497
2	0,497	0,492	0,484	0,483
3	0,479	0,460	0,434	0,429
4	0,332	0,331	0,330	0,328
5	0,246	0,244	0,242	0,241
6	0,162	0,155	0,152	0,152
7	0,072	0,039	0,036	0,032
8	0,059	0,050	0,048	0,048
9	0,059	0,050	0,048	0,048
10	0,063	0,061	0,061	0,059
11	0,071	0,069	0,066	0,066



4.3 Analisa dan Pembahasan

Dari hasil data-data nilai ketebalan pada titik-titik simpul diatas, akan dapat diketahui distribusi ketebalan dinding yang terjadi pada *cup* sebagai produk dari proses *vacuum forming* ini. Untuk mempermudah menganalisa distribusi ketebalan ini maka hasil pengukuran tersebut digambarkan dalam bentuk grafik.

4.3.1. Distribusi Ketebalan *Cup* Hasil Proses *Vacuum Forming* Dengan Waktu Pemanasan *Sheet* 2.0 menit



Gambar 4.1 Grafik distribusi ketebalan *cup* dengan waktu pemanasan *sheet* 2.0 menit

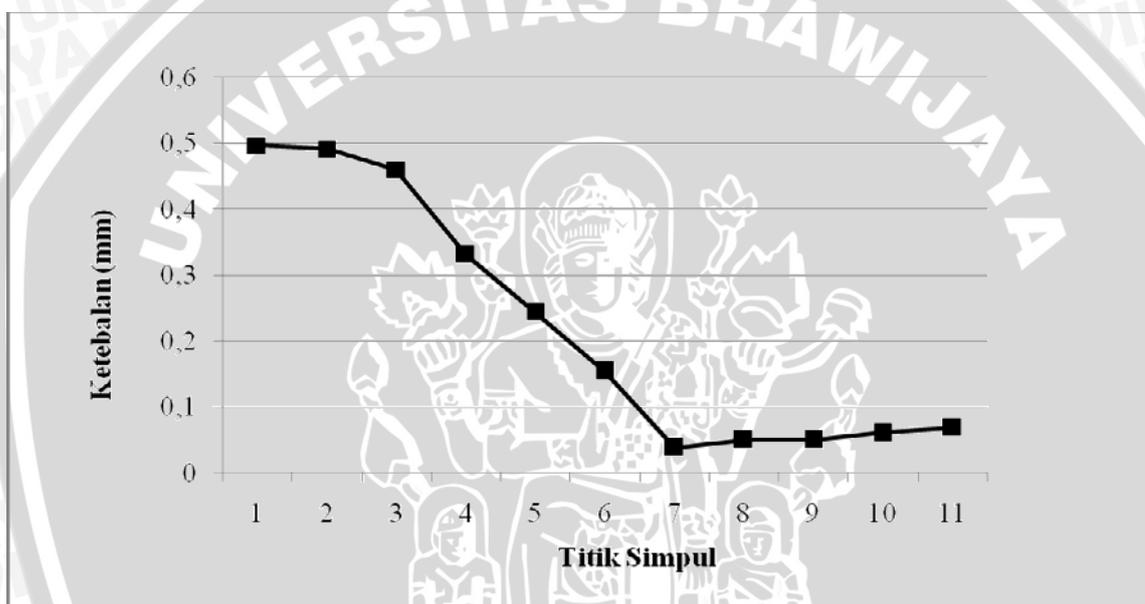
Dari Gambar 4.1 Grafik distribusi ketebalan yang terjadi pada waktu pemanasan 2.0 menit, dapat diketahui bahwa distribusi ketebalan yang terjadi pada bagian dasar produk memiliki kecenderungan merata. Hal ini disebabkan pada waktu pemanasan 2.0 menit merupakan waktu pemanasan plastis dari material *polyvinylchloride* yang paling rendah.

Pada saat material polimer dipanaskan selama 2.0 menit kemudian dilakukan proses pembentukan dengan bantuan tekanan *vacuum* terjadilah pemuluran *sheet* memasuki cetakan. Kontak antara material polimer dengan cetakan bagian dinding terjadi lebih awal daripada bagian dasar cetakan, karena jarak antara material dengan cetakan bagian dinding lebih dekat, sehingga pada waktu pemanasan 2.0 menit, waktu pemanasan dari material polimer yang rendah dapat menyebabkan penurunan suhu pembentukan yang sangat cepat dan mengembalikan material polimer pada keadaan elastic kaku dan sulit untuk dibentuk karena tidak banyak kesempatan yang diperoleh

oleh kondisi plastis material polimer untuk mulur. Penurunan suhu yang terlalu cepat menyebabkan bagian atas dari hasil produk yang diwakilkan oleh *cup* pada waktu pemanasan 2.0 menit memiliki ketebalan paling tinggi.

Dan terlalu singkatnya waktu pemanasan menyebabkan pula proses *shaping* pada daerah sudut tidak sempurna, atau tidak mampu memenuhi seluruh bagian sudut dengan baik. Hal ini dapat dilihat pada bagian sudut *cup* bagian bawah tidak membentuk sudut yang tajam namun berupa sudut yang tumpul dan memiliki radius.

4.3.2. Distribusi Ketebalan *Cup* Hasil Proses *Vacuum Forming* Dengan Waktu Pemanasan *Sheet* 2.5 menit

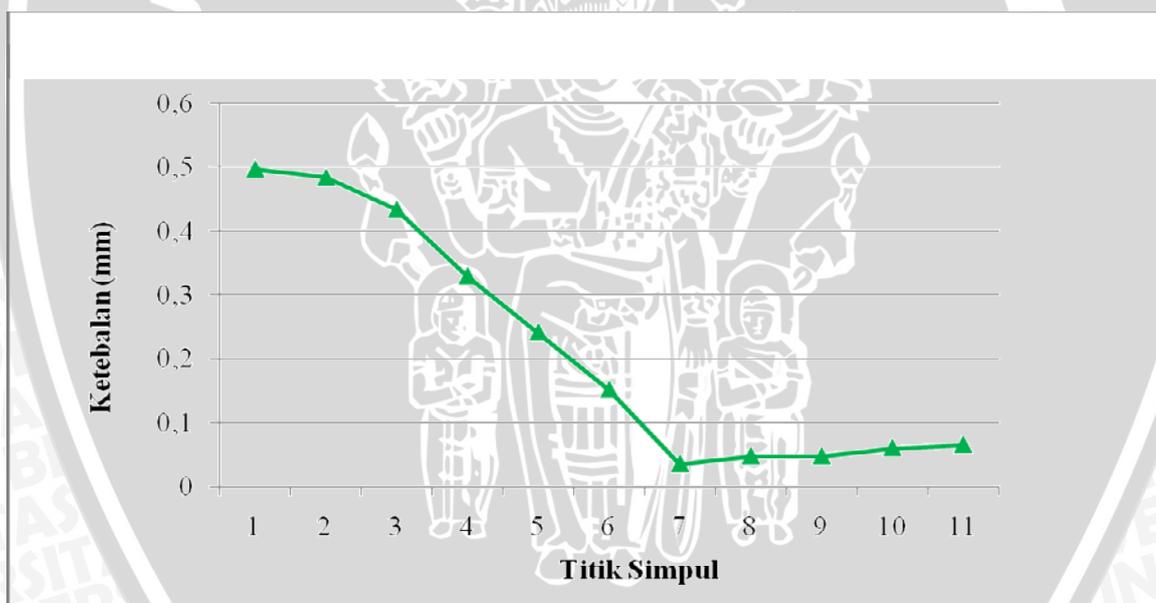


Gambar 4.2 Grafik distribusi ketebalan *cup* dengan waktu pemanasan *sheet* 2.5 menit

Dari gambar 4.2 dapat diketahui grafik distribusi ketebalan yang terjadi pada waktu pemanasan 2.5 menit. Pada grafik tersebut diketahui bahwa distribusi ketebalan yang terjadi pada hasil produk bagian dasar cetakan hampir seragam dengan kecenderungan berkurangnya ketebalan pada bagian ujung atau sudut cetakan yang merupakan ciri dari cetakan *female mould* pada proses *vacuum forming*. Hal ini terjadi karena bagian ujung merupakan daerah kemampuan mulur terbesar dari material untuk memenuhi ruangan pada cetakan. Pada bagian dinding dari hasil produk diketahui bahwa penurunan ketebalan yang terjadi pada titik simpul enam hingga titik simpul sebelas memiliki kecenderungan penurunan distribusi ketebalan yang stabil dan terkontrol.

Pada saat material polimer dipanaskan selama 2.5 menit, kemudian dilakukan proses pembentukan dengan bantuan tekanan *vacuum* terjadilah pemuluran *sheet* di saat material memasuki cetakan. Kontak yang terjadi antara material polimer dengan cetakan yang mempunyai suhu rendah pada bagian dinding terlebih dahulu menyebabkan material polimer kembali pada keadaan kaku, akan tetapi terdapat banyak kesempatan yang diperoleh oleh kondisi plastis material polimer untuk mulur yang dikarenakan waktu pemanasan dari material *polyvinylchloride* yang tidak terlalu cepat sehingga suhu plastis tidak mudah untuk kembali kepada kondisi elastisnya ketika mengalami penurunan suhu yang cepat oleh kontakannya material dengan cetakan. Sehingga hasil produk setelah proses pembentukan memiliki distribusi ketebalan dinding yang hampir rata.

4.3.3. Distribusi Ketebalan *Cup* Hasil Proses *Vacuum Forming* Dengan Waktu Pemanasan *Sheet* 3.0 menit

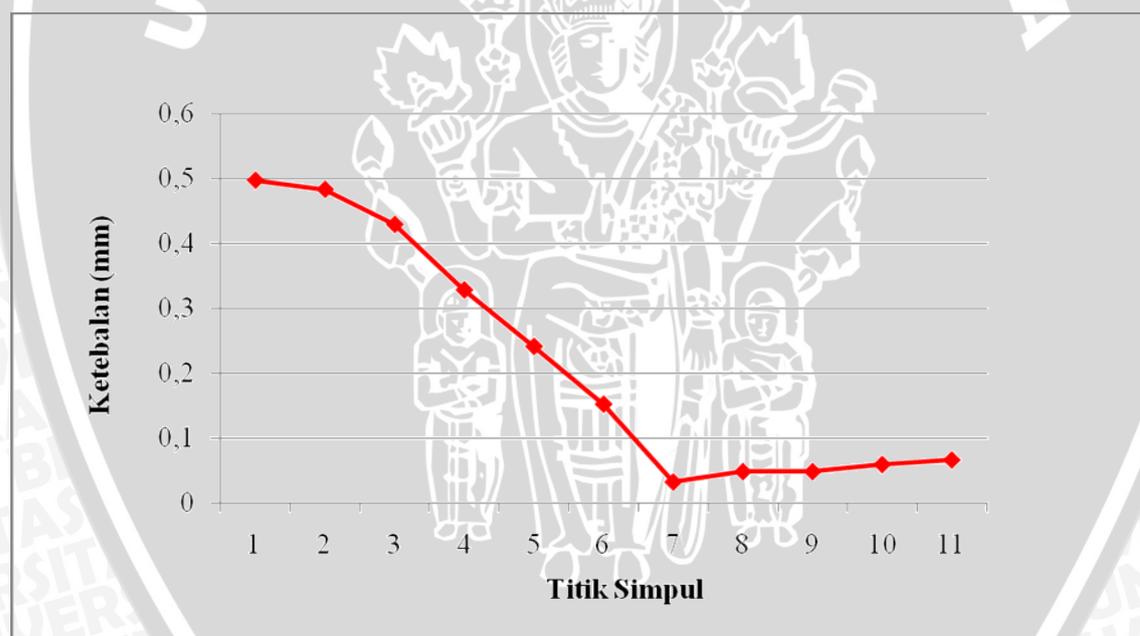


Gambar 4.3 Grafik distribusi ketebalan cup dengan waktu pemanasan *sheet* 3.0 menit

Pada gambar 4.3 dapat diketahui grafik distribusi ketebalan yang terjadi pada waktu pemanasan 3.0 menit. Pada saat material polimer dipanaskan selama 3.0 menit pada suhu 140°C , kemudian dilakukan proses pembentukan dengan bantuan tekanan *vacuum* terjadilah pemuluran *sheet* memasuki cetakan. Selama waktu pemanasan 3.0 menit pada suhu 140°C material *polyvinylchloride* berada dalam kondisi *softening point* pada daerah plastis yang tinggi. Sehingga tegangan tarik yang terjadi antar polimer

menjadi kecil yang menyebabkan ketika terjadi proses pembentukan ke dalam cetakan, bagian tengah dari material yang mengalami pembentukan terlebih dahulu, yang dikarenakan tegangan tarik dari material yang semakin rendah menyebabkan material semakin cepat bergerak memenuhi dasar cetakan dan menyentuh permukaan cetakan yang memiliki temperatur yang lebih dingin. Sehingga menyebabkan polimer yang terlebih dulu menyentuh dasar cetakan mengalami pendinginan, dan berhenti mulur, serta menyebabkan pada bagian tengah dasar produk memiliki ketebalan lebih besar. Hal ini menyebabkan distribusi ketebalan yang tidak merata pada hasil pembentukan *cup* terutama pada bagian sudut dari *cup*. Bagian sudut bagian bawah *cup* terbentuk secara sempurna. Pemulurannya mampu menjangkau seluruh bagian sudut rongga cetakan bagian bawah dengan baik.

4.3.4. Distribusi Ketebalan *Cup* Hasil Proses *Vacuum Forming* Dengan Waktu Pemanasan *Sheet* 3.5 menit



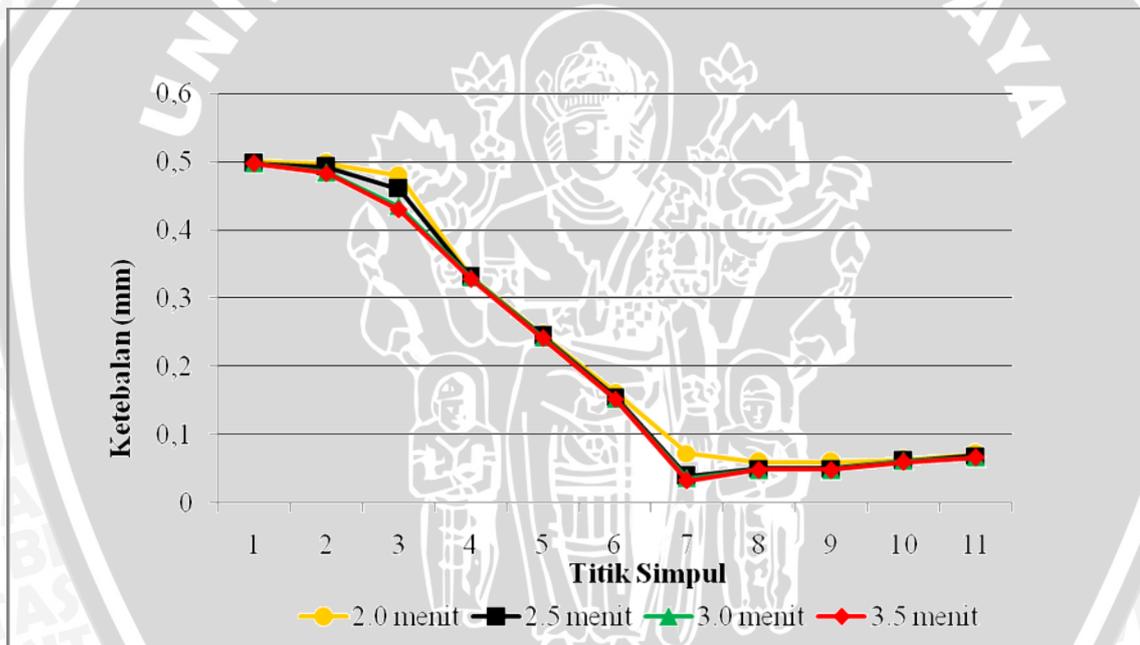
Gambar 4.4 Grafik distribusi ketebalan cup dengan waktu pemanasan *sheet* 3.5 menit

Pada gambar 4.4 dapat diketahui grafik distribusi ketebalan yang terjadi pada waktu pemanasan 3.5 menit. Dari grafik tersebut diketahui bahwa distribusi ketebalan yang terjadi pada hasil produk bagian dasar cetakan tidak seragam dengan ketebalan yang semakin rendah pada daerah ujung ataupun sudut bawah cetakan, hal ini dapat dilihat pada titik simpul enam sampai dengan titik simpul sebelas, hal ini terjadi karena

bagian ujung merupakan daerah kemampuan mulur terbesar dari material untuk memenuhi ruangan pada cetakan.

Pada saat material polimer dipanaskan pada waktu pemanasan 3.5 menit, kemudian dilakukan proses pembentukan dengan bantuan tekanan *vacuum* terjadilah pemuluran *sheet* memasuki cetakan. Akan tetapi pada waktu pemanasan 3.5 menit material *polyvinylchloride* berada dalam kondisi rentan, yang disebabkan waktu pemanasan yang terlalu lama, sehingga tegangan tarik yang terjadi antar molekul polimer mendekati nol yang menyebabkan ada sebagian dari polimer yang masuk ke dalam lubang evakuasi udara. Untuk mengatasi masalah ini mungkin kita dapat memperbesar ketebalan material yang digunakan.

4.3.5. Perbandingan Distribusi Ketebalan *Cup* Hasil *Vacuum Forming* Pada Beberapa Variasi Waktu Pemanasan *Polyvinylchloride*.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan distribusi ketebalan *cup* pada beberapa variasi waktu pemanasan *sheet*.

Gambar 4.5 diatas menampilkan Perbandingan distribusi ketebalan yang terjadi dari ujung atas *cup* sampai dasar bagian bawah. Berdasarkan pada grafik diatas diketahui distribusi ketebalan terlihat dari nilai ketebalan mulai dari titik simpul satu yang terletak pada bagian atas dasar hingga titik simpul sebelas yang terletak pada bagian bawah *cup*. Pada diagram diatas terlihat jelas perbedaannya dimana bagian atas *cup* nilai ketebalannya lebih besar dibandingkan dengan nilai ketebalan pada bagian dasar *cup* yang merupakan kecenderungan hasil *vacuum forming* dengan *female mould*.

Kecenderungan yang terjadi pada hasil produk dengan variasi waktu pemanasan yang beragam hampir sama. Sesuai dengan teori distribusi ketebalan, pada titik simpul awal produk *cup* terbentuk lebih tebal dan ketebalan pada bagian dasar *cup* relatif tipis. Ini terjadi karena dengan metode *female mould* yang digunakan proses pemuluran terjadi berawal dari dinding dan kemudian akan secara bersamaan menyentuh dasar cetakan.

Perbedaan distribusi ketebalan antara variasi waktu pemanasan terlihat jelas pada titik simpul tiga dan titik simpul tujuh. Pada titik simpul tiga terjadi perbedaan distribusi ketebalan yang cukup jauh dengan titik simpul empat. Khususnya pada variasi waktu pemanasan 2.0 menit, hal ini disebabkan karena waktu pemanasan lebih singkat, menyebabkan panas yang diperoleh material polimer pada titik simpul tiga kurang merata, sehingga pembentukan terjadi sangat cepat dan mengembalikan material polimer pada keadaan elastic kaku serta sulit untuk dibentuk karena tidak banyak kesempatan yang diperoleh oleh kondisi plastis material polimer untuk mulur. Sama halnya yang terjadi pada variasi waktu pemanasan 2.5 menit.

Sedangkan pada variasi waktu pemanasan 3.0 menit dan 3.5 menit perbedaan ketebalan titik tiga dan empat tidak terlalu jauh, atau lebih seragam sesuai dengan teori distribusi ketebalan *female mold*.

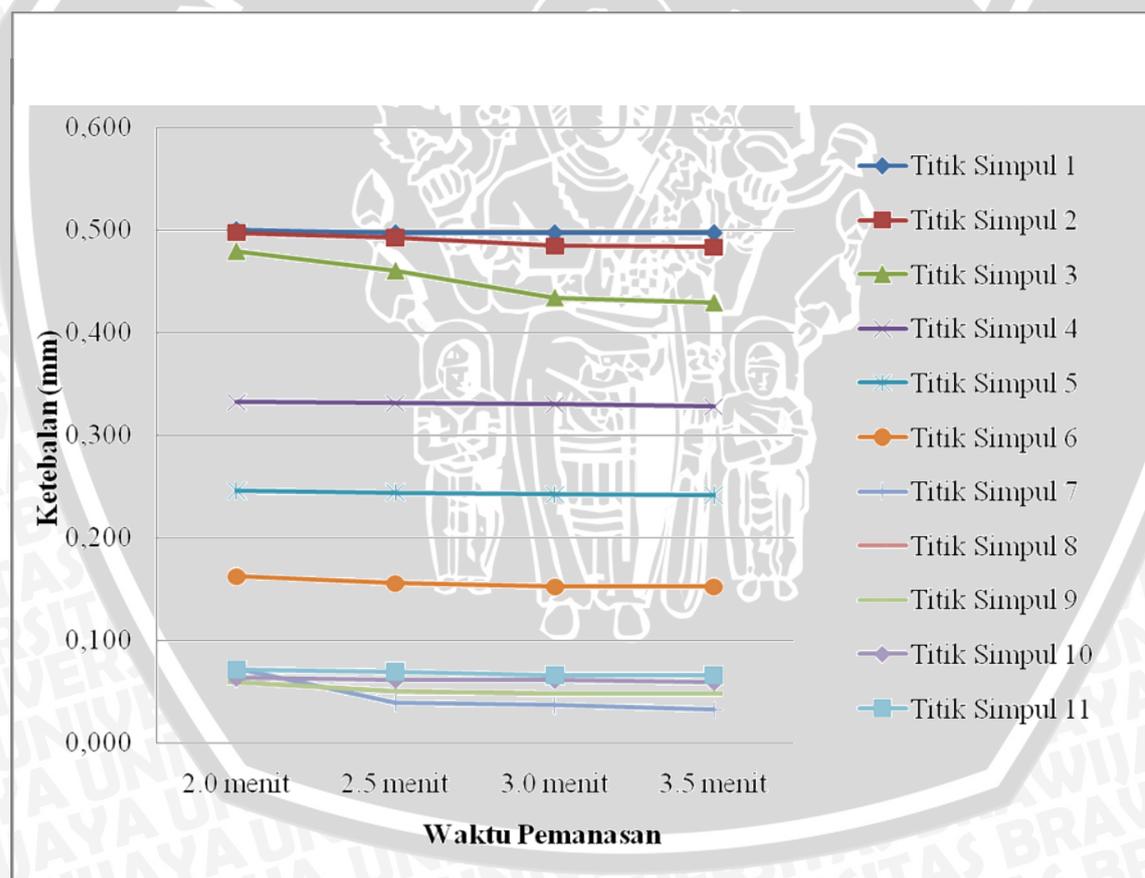
Pada titik simpul tujuh, terjadi pula perbedaan distribusi ketebalan yang kurang merata, khususnya pada variasi waktu pemanasan 2.0 menit. Pada titik simpul tujuh merupakan sudut bawah cetakan yang paling jauh ditempuh oleh material polimer ketika mengalami pembentukan. Sehingga dengan waktu pemanasan yang terlalu singkat menyebabkan penurunan suhu terjadi lebih cepat menyebabkan sudut bawah cetakan tidak terisi sempurna atau membentuk sudut tumpul yang memiliki radius. Berbeda halnya dengan yang terjadi pada waktu pemanasan 2.5 menit, 3.0 menit dan 3.5 menit. Waktu pemanasan yang lebih lama memungkinkan material polimer mendapatkan suhu yang lebih merata untuk menuju sudut bawah cetakan dan membentuk sudut yang lebih siku.

Kemudian pada titik simpul sebelas memiliki ketebalan yang lebih besar dibandingkan titik simpul tujuh, delapan, sembilan dan sepuluh khususnya pada variasi waktu pemanasan 2.5 menit sampai 3.5 menit. Hal ini disebabkan kurang meratanya panas yang diterima menyebabkan tegangan tarik polimer yang terjadi menjadi kecil, sehingga ketika terjadi proses pembentukan ke dalam cetakan, bagian tengah dari material mengalami pembentukan terlebih dahulu. Sehingga menyebabkan polimer

yang terlebih dulu menyentuh dasar cetakan mengalami pendinginan, dan berhenti mulur, serta menyebabkan pada bagian tengah dasar produk memiliki ketebalan lebih besar.

Dari Analisa varian satu arah dan grafik distribusi ketebalan, dimana distribusi ketebalan sesuai dengan teori distribusi ketebalan pada *female mold*, diperoleh hasil bahwa waktu pemanasan lembaran plastik *polyvinylchloride* berpengaruh terhadap distribusi ketebalan produk pada *vacuum forming*.

Pada pembahasan diatas dapat kita lihat bahwa, hasil produk yang baik terlihat pada *cup* dengan waktu pemanasan 3.0 menit. Dengan temperatur tersebut sudah cukup mampu mengatasi penurunan temperatur *polyvinylchloride* yang cepat akibat adanya konduksi dengan cetakan. Ketebalan dinding pada kondisi ini cukup baik, penurunan ketebalan dan perbedaan ketebalan antara titik simpulnya tidak terlalu besar dan teratur.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh waktu pemanasan terhadap distribusi ketebalan *cup* pada setiap titik simpul.