

BAB IV

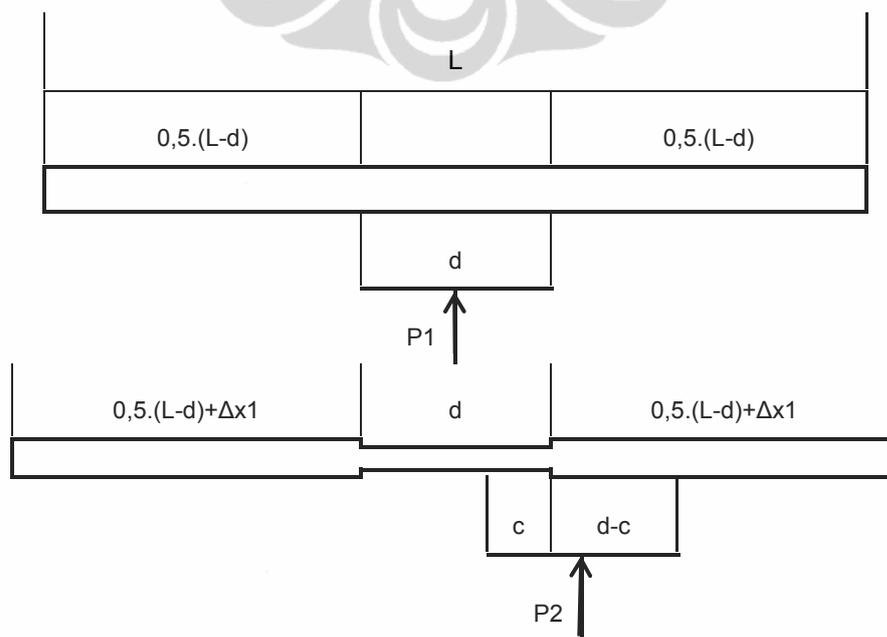
ANALISIS PENGARUH TEKNIK PENYAMBUNGAN TERHADAP TEMPERATUR

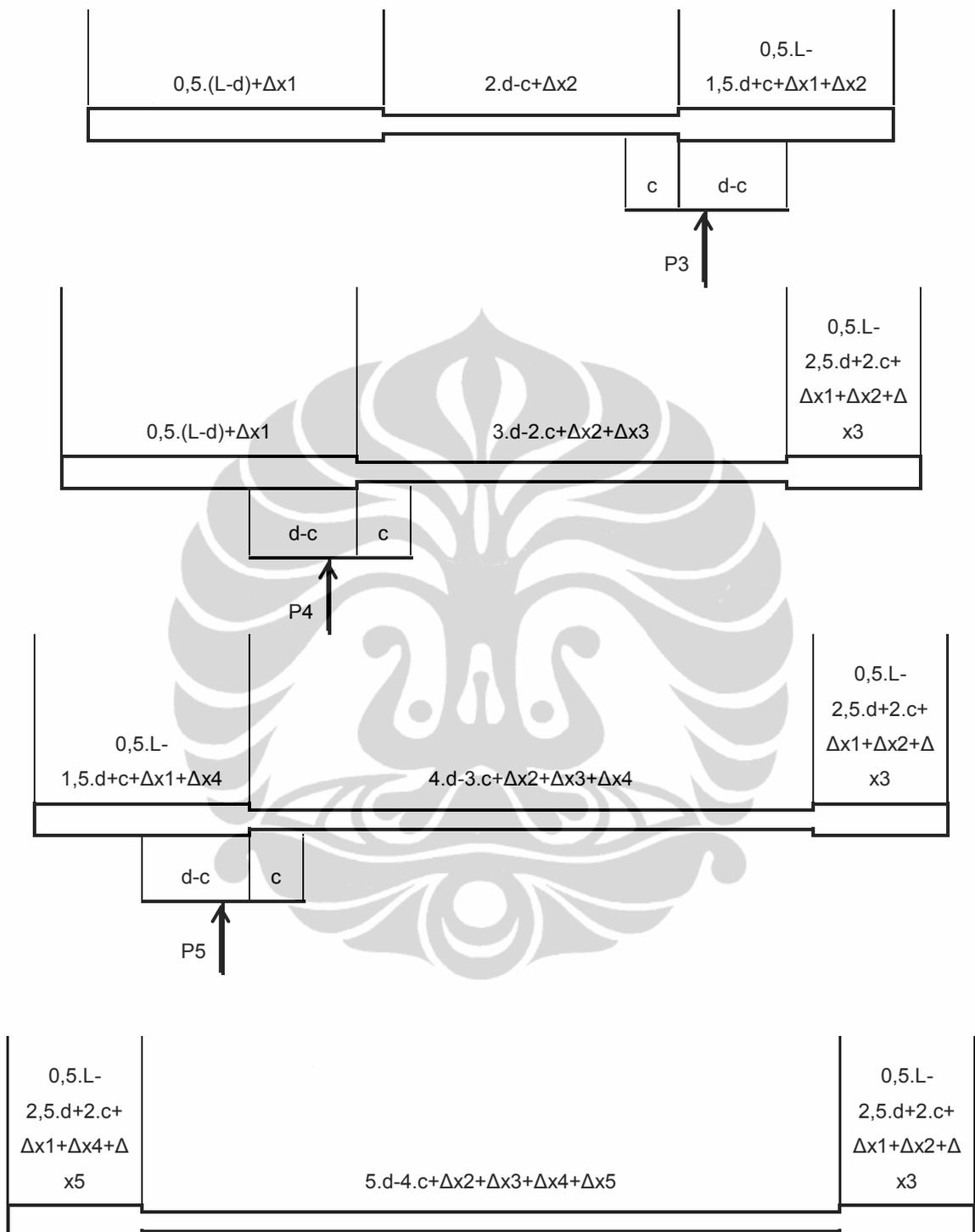
4.1 Analisis pengaruh teknik penyambungan terhadap panjang sambungan

Yang dimaksud dengan teknik penyambungan dalam penelitian ini adalah urutan langkah penekanan pada selongsong tekan. Ada tiga cara yang diuji, yaitu (a) dari tengah ke ujung yang diberi kode uji TU, (b) dari ujung ke ujung atau UU dan (c) dari ujung ke tengah selongsong atau UT.

4.1.1 Teknik penyambungan pada kode uji TU.

Proses penyambungan pada TU dimulai dari bagian tengah selongsong ke arah kedua ujungnya. Panjang sambungan yang terbentuk dari teknik penyambungan ini adalah sebagai berikut:





Gambar 4.1 : Teknik Penyambungan pada TU

Jika:

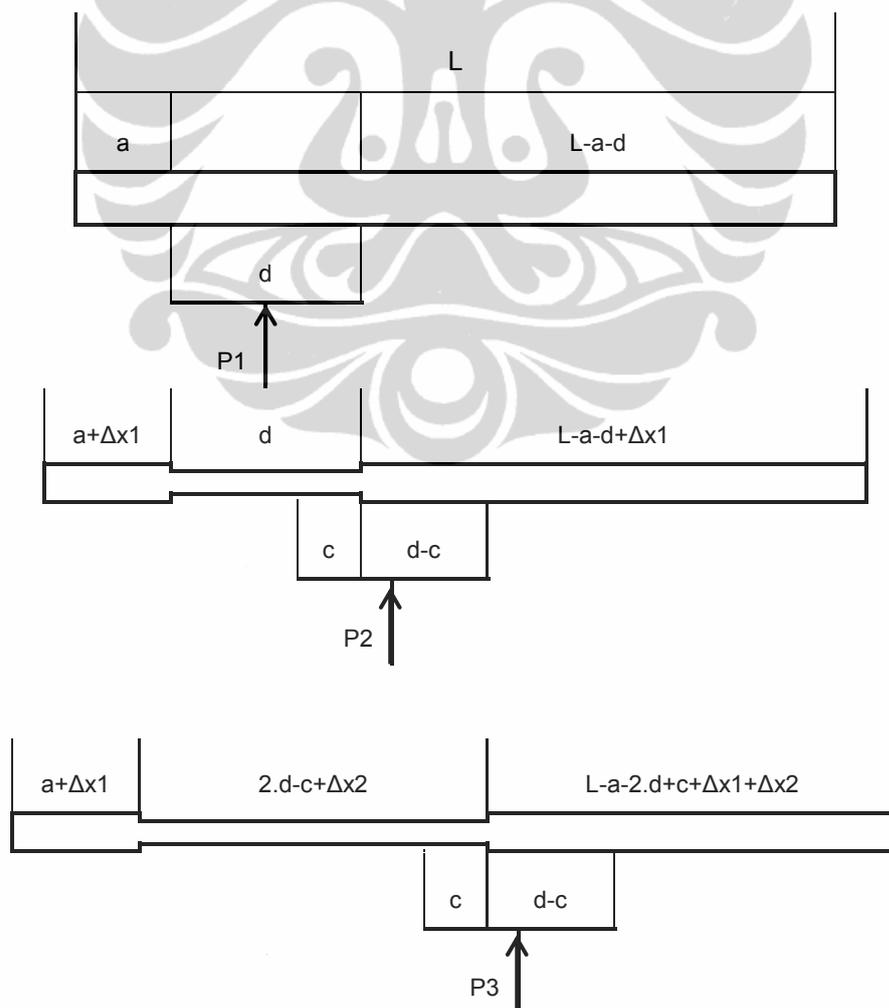
$$\Delta x_2 = \Delta x_3 = \Delta x_4 = \Delta x_5 = [(d-c)/d] * \Delta x_1 \quad \dots(4.1)$$

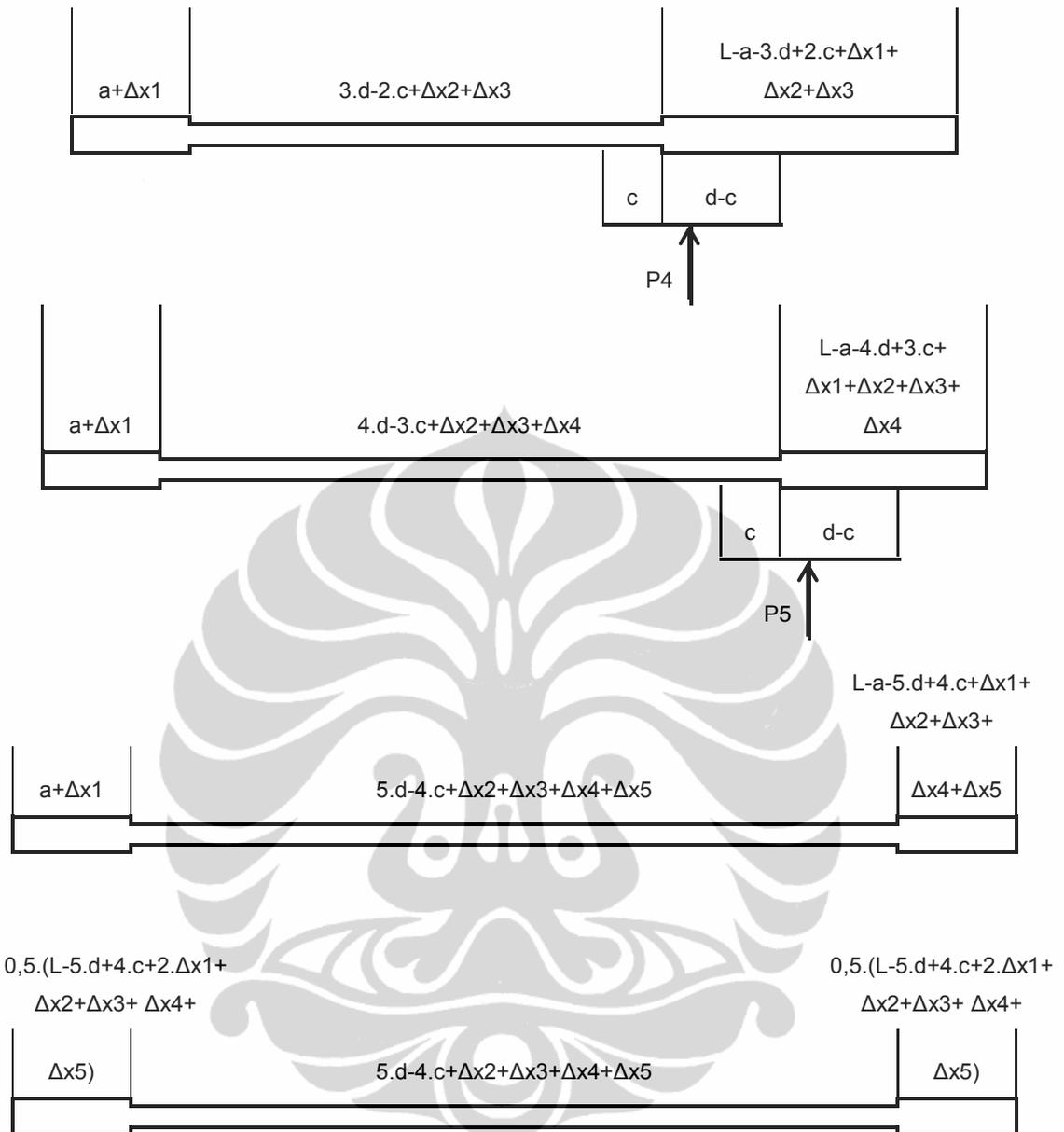
Maka panjang sambungan:

$$L_{ss_TU} = 5d - 4c + 4.[(d-c)/d] * \Delta x_1 \quad \dots(4.2)$$

4.1.2 Teknik penyambungan pada kode uji UU.

Proses penyambungan pada UU dimulai dari bagian ujung selongsong ke arah ujung lainnya. Panjang sambungan yang terbentuk dari teknik penyambungan ini adalah sebagai berikut:





Gambar 4.2 : Teknik Penyambungan pada UU

Jika:

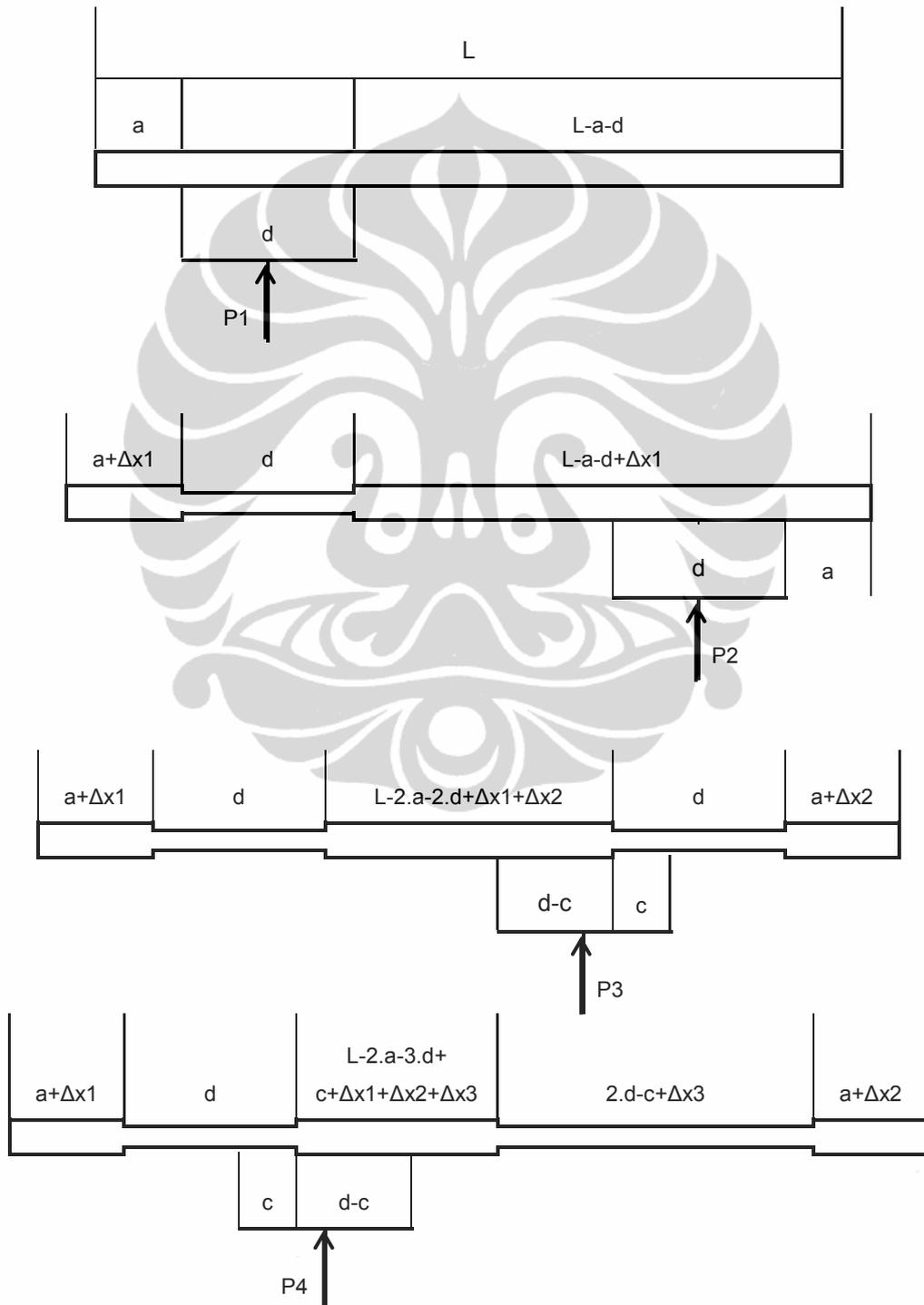
$$\Delta x_2 = \Delta x_3 = \Delta x_4 = \Delta x_5 = [(d-c)/d] * \Delta x_1 \quad \dots(4.3)$$

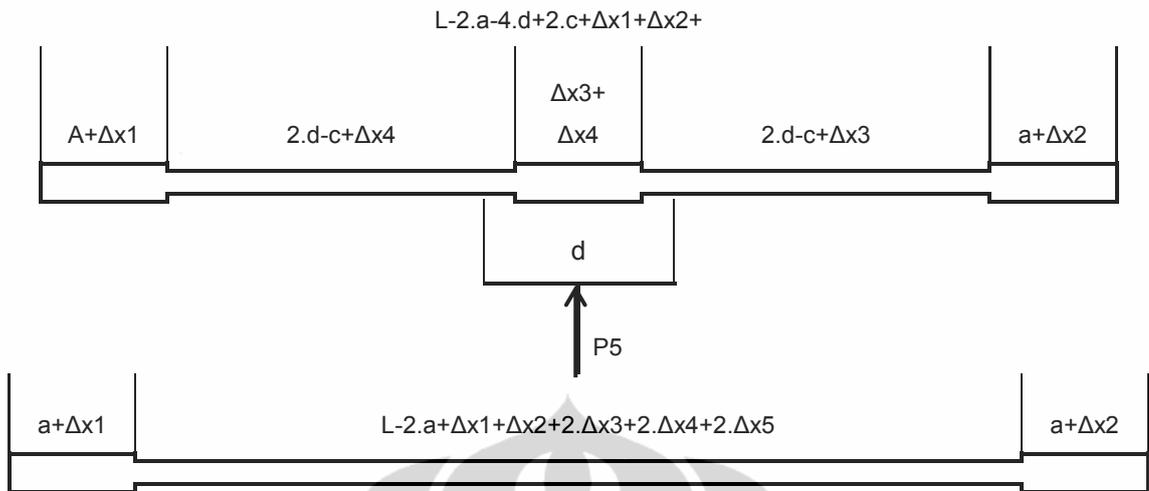
Maka panjang sambungan :

$$L_{ss_UU} = 5d - 4c + 4 \cdot [(d-c)/d] * \Delta x_1 \quad \dots(4.4)$$

4.1.3 Teknik penyambungan pada kode uji UT.

Proses penyambungan pada UT dimulai dari kedua ujung selongsong ke arah tengah. Panjang sambungan yang terbentuk dari teknik penyambungan ini adalah sebagai berikut:





Gambar 4.3 : Teknik Penyambungan pada UT

Jika:

$$\Delta x_2 = \Delta x_1 \quad \dots(4.5)$$

$$\Delta x_3 = \Delta x_4 = [(d-c)/d] * \Delta x_1 \quad \dots(4.6)$$

$$\begin{aligned} \Delta x_5 &= [(L - 2a - 4d + 2c + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4)/d] * \Delta x_1 \\ &= (L - 2a - 4d + 2c) * (\Delta x_1/d) + (4d - 2c) * (\Delta x_1/d)^2 \quad \dots(4.7) \end{aligned}$$

Maka panjang sambungan :

$$L_{ss_UT} = L - 2a + (2L - 4a - 2d) * (\Delta x_1/d) + (8d - 4c) * (\Delta x_1/d)^2 \quad \dots(4.8)$$

dengan:

Δx_n : Pertambahan panjang selongsong karena gaya P_n (cm)

Dari hasil pengukuran selongsong setelah dilakukan proses penyambungan, diameter rata-rata sambungan menjadi 2,0 cm, maka:

$$\begin{aligned}\delta &= (\text{diameter mula selongsong}) - (\text{diameter akhir selongsong}) \\ &= 2,3 - 2,0 = 0,3 \text{ cm}\end{aligned}$$

Tebal bidang tekan $s = \text{diameter mula} = 2,3 \text{ cm}$, maka regangan normal:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{s} = \frac{0,3}{2,3} = 0,1304$$

Rasio Poisson untuk aluminium $\mu = 0,334$ ^[3], maka regangan lateral:

$$\varepsilon' = \mu \cdot \varepsilon = 0,334 \cdot 0,1304 = 0,044$$

Lebar bidang tekan $d = 7 \text{ cm}$, maka pertambahan panjang lateral:

$$\Delta L = \varepsilon' \cdot d = 0,044 \cdot 7 = 0,308 \text{ cm}$$

Jadi $\Delta x_1 = \frac{1}{2} \cdot \Delta L = 0,154 \text{ cm}$.

Dengan menggunakan persamaan (4.2), (4.4) dan (4.8) masing-masing untuk kode uji TU, UU dan UT, maka panjang sambungan:

$$L_{ss_TU} = 5 \cdot 7 - 4 \cdot 2 + 4 \cdot [(7-2)/7] \cdot 0,154 = 27,440 \text{ cm}$$

$$L_{ss_UU} = 5 \cdot 7 - 4 \cdot 2 + 4 \cdot [(7-2)/7] \cdot 0,154 = 27,440 \text{ cm}$$

$$L_{ss_UT} = 39 - 2 \cdot 6 + (2 \cdot 39 - 4 \cdot 6 - 2 \cdot 7) \cdot (0,154/7) +$$

$$(8 \cdot 7 - 4 \cdot 2) \cdot (0,154/7)^2$$

$$= 27,903 \text{ cm}$$

Dari hasil perhitungan tersebut di atas, teknik penyambungan dengan cara TU dan UU menghasilkan panjang sambungan yang sama. Hal ini disebabkan lebar efektif penekanannya sama panjang, yaitu $5d - 4c = 27 \text{ cm}$.

Sedangkan untuk teknik penyambungan dengan cara UT menghasilkan sambungan yang lebih panjang sebesar 1,7% dibandingkan dengan cara TU dan UU. Hal ini disebabkan lebar efektif penekanannya lebih panjang, yaitu $L - 2a + (4 - (2c/d))\Delta x_1 = 27,528 \text{ cm}$. Hampir semua bagian perpanjangan hasil proses penyambungan TU merupakan bagian dari panjang sambungan, sedangkan kedua ruas ujung selongsong yang bukan bagian dari panjang sambungan panjangnya tetap setelah dua penekanan awal.

Selanjutnya data hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan empiris tersebut dibandingkan dengan data panjang sambungan hasil pengukuran pada selongsong contoh uji, seperti yang dituliskan dalam tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 : Perbandingan Panjang Sambungan Hasil Perhitungan dengan Pengukuran

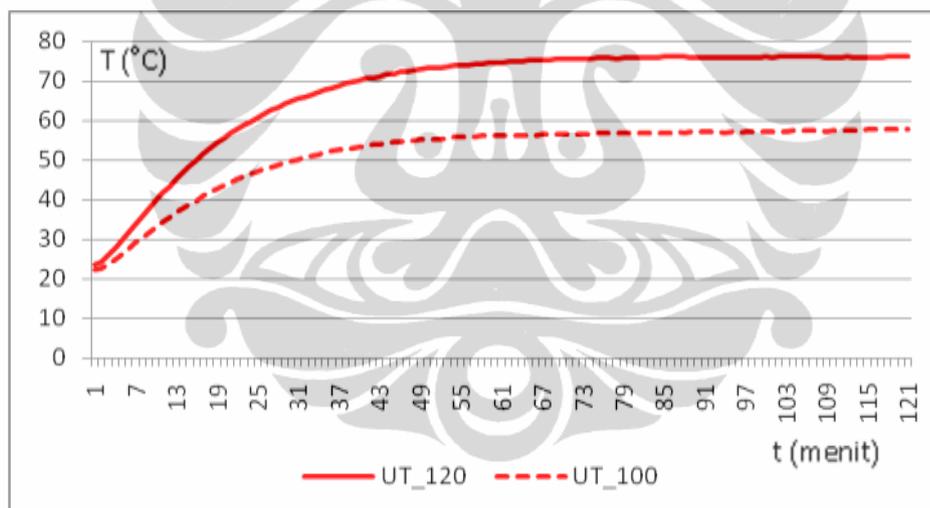
Kode Uji	Perhitungan (cm)	Pengukuran (cm)	Deviasi (%)
Lss_TU	27,440	27,53	0,33
Lss_UU	27,440	27,49	0,18
Lss_UT	27,903	27,76	0,51

Dari tabel 4.1 di atas, didapatkan data bahwa meskipun secara perhitungan panjang sambungan $Lss_TU = Lss_UU$, ternyata hasil pengukuran panjang sambungan pada selongsong contoh uji TU lebih panjang 0,04 cm dibandingkan UU. Sedangkan untuk sambungan UT adalah sambungan paling panjang.

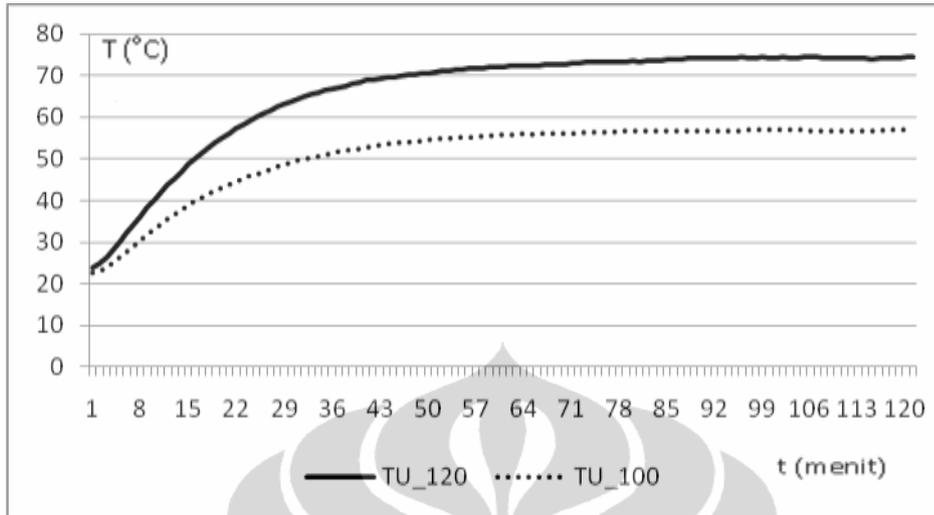
Deviasi panjang sambungan antara hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan empiris dengan hasil pengukuran pada selongsong contoh uji berkisar antara 0,18% s/d 0,51%. Perbedaan tersebut disebabkan faktor ketelitian dalam pelaksanaan penyambungan.

4.2 Analisis Pengaruh Teknik Penyambungan terhadap Temperatur Sambungan

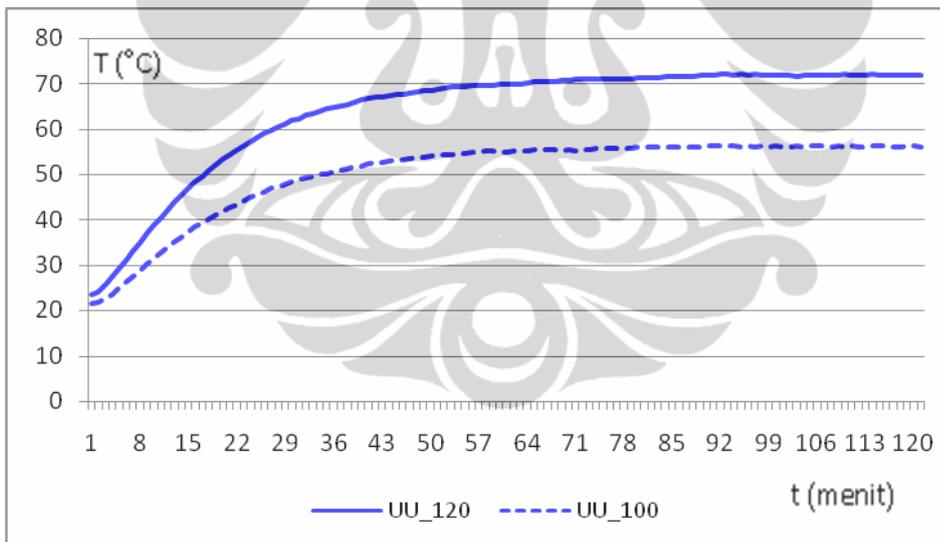
Dari hasil pengukuran temperatur selama sambungan dialiri arus uji didapatkan grafik hubungan antara temperatur terhadap waktu, seperti gambar 4.4 di bawah ini:



(a) Kode Uji UT



(b) Kode Uji TU



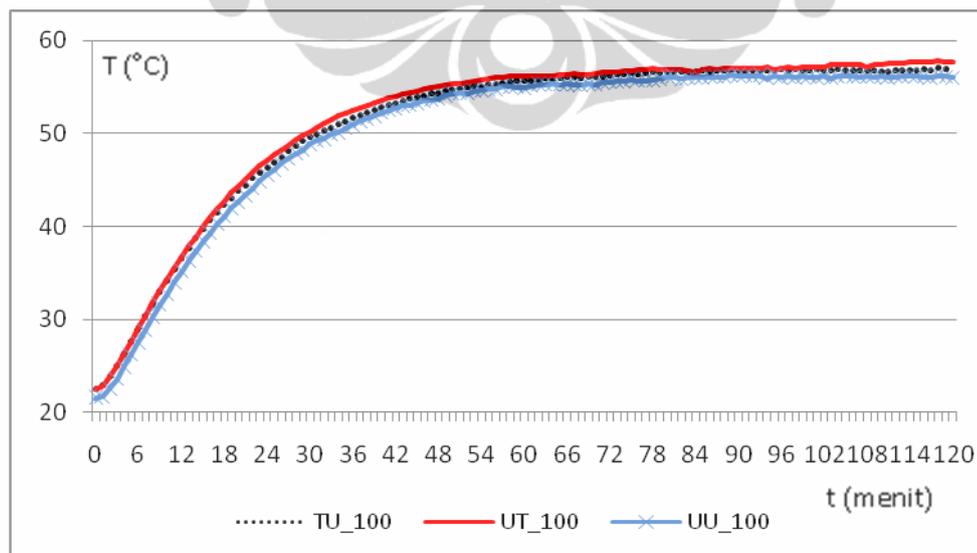
(c) Kode Uji UU

Gambar 4.4 : Grafik Hubungan Temperatur - Waktu

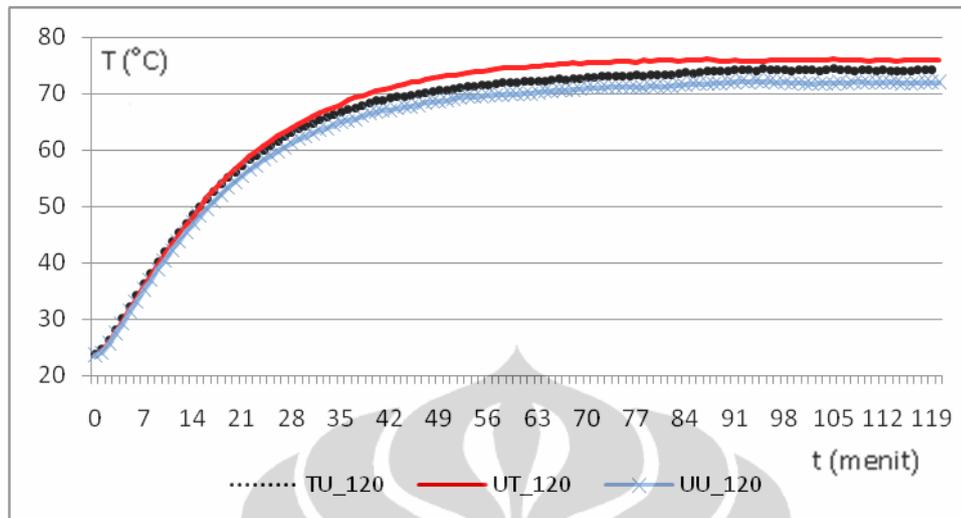
Grafik dalam gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada semua kode uji, kenaikan temperatur berpola logaritmik, yaitu pada waktu awal pemberian arus uji, terjadi kenaikan temperatur yang cukup besar. Hal ini terjadi karena rugi-rugi Joule yang dihasilkan digunakan untuk menaikkan temperatur sambungan, sedangkan yang diradiasikan sangat kecil. Semakin lama kalor yang diradiasikan semakin besar sehingga kenaikan temperatur sambungan semakin kecil. Hingga pada suatu waktu tertentu mencapai kondisi stabil pada nilai temperatur setimbang.

Ketiga contoh uji mempunyai grafik dengan pola yang sama, yaitu kenaikan temperatur pada arus uji 120% In lebih tinggi dibandingkan pada arus uji 100% In. Hal ini sesuai dengan persamaan $P = I^2.R$, yang menunjukkan semakin besar arus yang melewati hambatan sambungan yang sama, semakin besar rugi-rugi Joule sambungan tersebut sehingga temperaturnya semakin tinggi.

Selanjutnya perbandingan kenaikan temperatur antar sambungan contoh uji, ditampilkan dalam gambar 4.5.



(a) Untuk arus uji 100% In



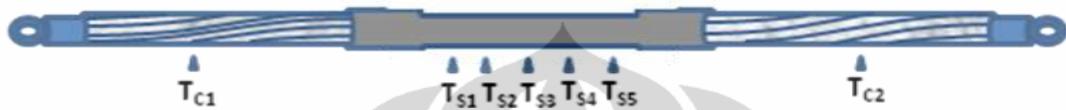
(b) Untuk arus uji 120% In

Gambar 4.5 : Perbandingan Grafik Hubungan Temperatur terhadap Waktu antar Sambungan

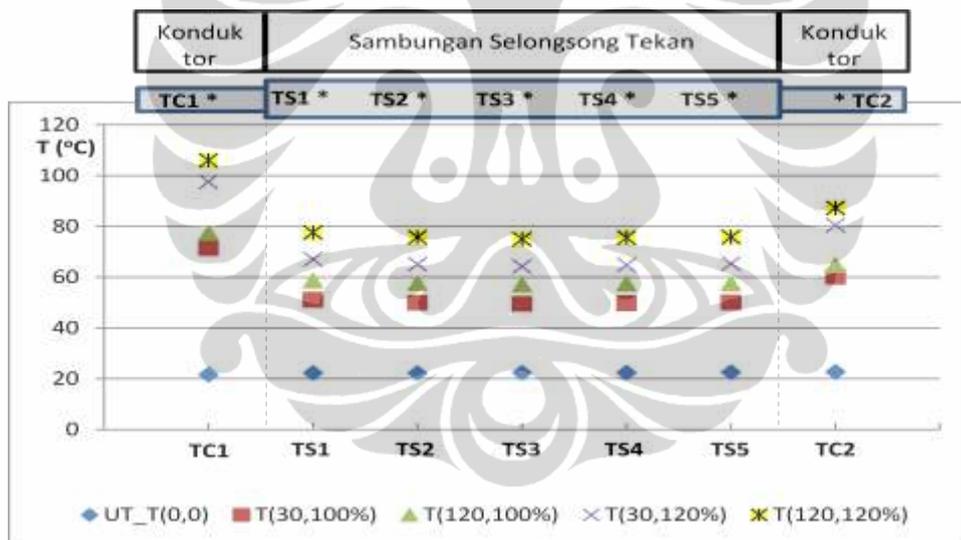
Dari gambar tersebut tampak bahwa grafik hubungan temperatur terhadap waktu sambungan UT mempunyai temperatur setimbang paling tinggi. Kemudian untuk sambungan TU lebih rendah dibandingkan sambungan UT, serta yang paling rendah temperatur setimbangnya adalah sambungan UU. Kondisi tersebut sama untuk arus uji 100% In maupun 120% In.

Dengan mengacu pada data panjang sambungan dalam tabel 4.1, ada korelasi positif bahwa sambungan yang lebih panjang (UT) menghasilkan nilai temperatur yang lebih tinggi, artinya semakin panjang sambungan, hambatannya semakin besar; sehingga nilai kalor yang dihasilkan lebih besar atau sambungan tersebut mempunyai nilai temperatur setimbang yang lebih tinggi. Dan sebaliknya bahwa untuk sambungan yang lebih pendek (UU) menghasilkan nilai temperatur yang lebih rendah, karena semakin pendek sambungan, hambatannya semakin kecil; sehingga nilai kalor yang dihasilkan lebih kecil atau sambungan tersebut mempunyai nilai temperatur setimbang yang lebih rendah.

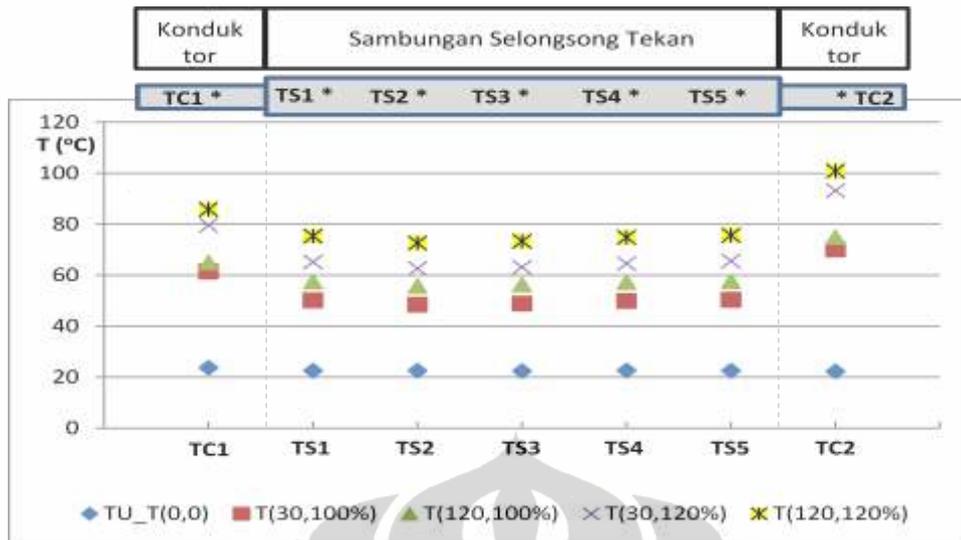
Namun demikian secara umum ketiga sambungan tersebut mempunyai unjuk kerja yang baik, hal ini ditunjukkan dalam gambar 4.6 di bawah ini. Merujuk penelitian **C. Comte dan R. Lacasse**^[2], sambungan yang baik mempunyai temperatur kerja lebih rendah dibandingkan temperatur kerja konduktornya.



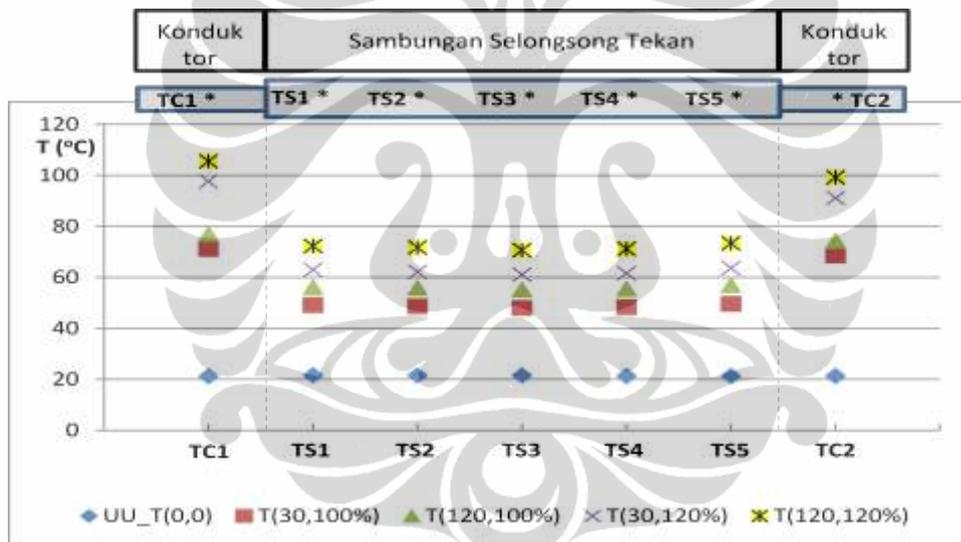
(a) Titik ukur temperatur pada sambungan dan konduktor



(b) Untuk sambungan UT



(c) Untuk sambungan TU



(d) Untuk sambungan UU

Gambar 4.6 : Distribusi Temperatur Sambungan dan Konduktor

Keterangan gambar:

TS1 s/d TS5 : Temperatur sambungan.

TC1, TC2 : Temperatur konduktor.

T(t,I) : Temperatur pada menit ke t dengan arus uji I % In.

Dari gambar 4.6 (b), (c) dan (d), diketahui bahwa untuk ketiga macam sambungan pada T(0,0) yaitu sebelum diberikan arus uji, temperatur sambungan dan konduktor sama. Seiring dengan pemberian arus uji yang melewati sambungan dan konduktor-konduktor di kedua sisinya, yaitu untuk arus uji 100% In pada menit ke 30 atau T(30,100%) dan menit ke 120 atau T(120,100%) serta arus uji 120% In pada menit ke 30 dan 120 atau T(30,120%) dan T(120,120%) terjadi kenaikan temperatur. Temperatur setimbang pada ketiga macam sambungan tersebut lebih rendah dibandingkan temperatur konduktornya.

Pada saat diberikan arus 100% In, selisih temperatur setimbang antara konduktor dan masing-masing sambungan pada $t = 120$ menit adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 : Selisih Temperatur Konduktor dengan Sambungan.

Sambungan	Temperatur		Selisih (°C)
	Sambungan (°C)	Konduktor (°C)	
UT	57,72		14,59
TU	56,93	72,31	15,38
UU	56,02		16,29

Dari tabel 4.2 dapat diketahui pada saat dialirkan arus sebesar nominal arus konduktor, temperatur masing-masing sambungan lebih rendah dibandingkan temperatur konduktornya. Selisih temperatur setimbang sambungan UT dengan konduktor adalah yang paling kecil artinya temperatur sambungan UT paling tinggi dibandingkan dua sambungan lainnya, sedangkan temperatur sambungan UU dengan konduktor adalah yang paling besar atau temperatur setimbang sambungan UU paling rendah.

Kemudian untuk mengolah data hasil pengukuran temperatur selama masa waktu pemberian arus uji untuk mendapatkan persamaan grafik hubungan temperatur terhadap waktu digunakan persamaan (2.19):

$$T(t) = \frac{a.t+b}{t+c}$$

Dari sekumpulan pasangan data (t,T(t)) hasil pengujian sambungan, selanjutnya dipilih tiga pasangan data. Dengan menggunakan metode substitusi-eliminasi dihitung nilai konstanta a, b dan c persamaan tersebut.

Tabel 4.3 : Pasangan Data (t,T(t)) hasil pengujian sambungan.

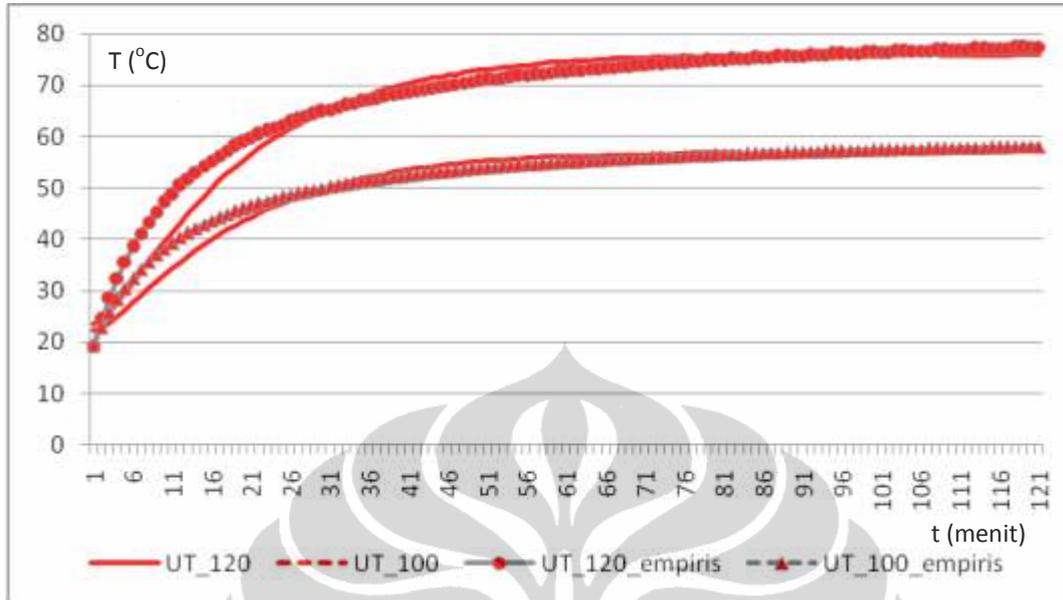
Kode Uji Sambungan	Arus Uji	Pasangan Data (t, T(t)) (menit, °C)		
UT	100% In	(1 , 22.85)	(30 , 50.18)	(90 , 57.01)
	120% In	(1 , 24.35)	(30 , 65.35)	(90 , 75.80)
TU	100% In	(1 , 22.97)	(30 , 49.60)	(90 , 56.77)
	120% In	(1 , 24.71)	(30 , 64.25)	(90 , 74.11)
UU	100% In	(1 , 21.72)	(30 , 48.82)	(90 , 56.22)
	120% In	(1 , 24.14)	(30 , 62.32)	(90 , 71.87)

Setelah dilakukan perhitungan dengan metode substitusi-eliminasi, didapatkan persamaan grafik masing-masing sambungan sebagai berikut:

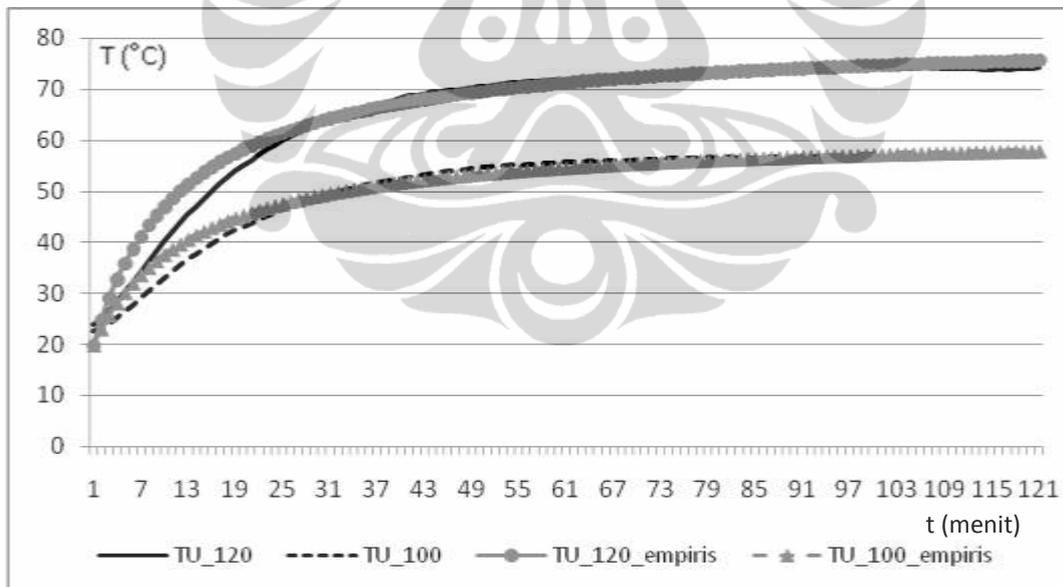
Tabel 4.4 : Persamaan Grafik Sambungan

Kode Uji Sambungan	Arus Uji	Persamaan Grafik Sambungan
UT	100% In	$T(t) = \frac{61,71 \cdot t + 217,75}{t + 11,23}$
	120% In	$T(t) = \frac{83,02 \cdot t + 221,36}{t + 11,50}$
TU	100% In	$T(t) = \frac{61,82 \cdot t + 243,91}{t + 12,31}$
	120% In	$T(t) = \frac{80,88 \cdot t + 220,58}{t + 11,20}$
UU	100% In	$T(t) = \frac{61,46 \cdot t + 232,41}{t + 12,53}$
	120% In	$T(t) = \frac{78,43 \cdot t + 217,04}{t + 11,24}$

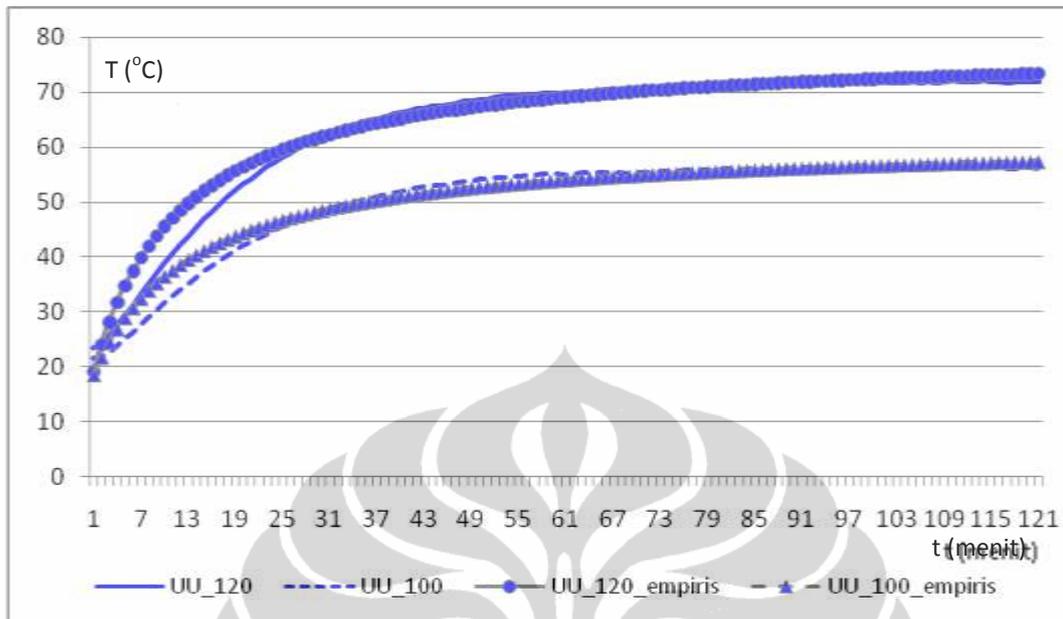
Tampilan grafik hubungan antara temperatur terhadap waktu dari persamaan empiris dalam tabel 4.4 dibandingkan dengan grafik hasil pengujian dalam gambar 4.4, ditunjukkan dalam gambar 4.7 di bawah ini.



(a) Kode Uji UT



(b) Kode Uji TU



(c) Kode Uji UU

Gambar 4.7 : Grafik Hubungan Temperatur – Waktu (Hasil Uji dan Persamaan Empiris Temperatur)

Dari grafik dalam gambar 4.7 tampak bahwa grafik hubungan temperatur terhadap waktu hasil pengujian dengan hasil persamaan empiris mempunyai pola yang sama untuk kedua besaran arus uji. Selisih terbesar terjadi dalam interval waktu antara 0 s/d τ_t . Kemudian setelah mencapai waktu τ_t kedua grafik hampir saling berimpit sampai didapatkan temperatur setimbangnya. Dengan pola hubungan seperti itu, maka persamaan-persamaan empiris tersebut dapat digunakan untuk memprediksikan kenaikan temperatur pada sambungan selongsong tekan sesuai teknik penyambungannya.

Nilai temperatur setimbang (T_m) dan konstanta waktu (τ_t) yang dicapai oleh masing-masing sambungan untuk kedua besaran arus uji ditampilkan dalam tabel 4.5. Nilai T_m dan temperatur awal (T_i) masing-masing sambungan didapatkan dari grafik hubungan temperatur dengan waktu dalam gambar 4.4. Sedangkan nilai τ_t dihitung dengan menggunakan persamaan grafik sambungan dalam tabel 4.4.

Tabel 4.5 : Temperatur Setimbang dan Konstanta Waktu Sambungan.

Kode Uji Sambungan	Arus Uji	T_i (°C)	T_m (°C)	τ_t (menit)
UT	100% In	22,42	56,84	15,76
	120% In	23,59	74,92	15,57
TU	100% In	22,59	56,12	16,24
	120% In	23,86	73,60	15,49
UU	100% In	21,53	55,28	16,27
	120% In	23,48	71,18	15,48

Dari pasangan data nilai temperatur setimbang dan konstanta waktu untuk masing-masing sambungan terhadap arus uji, diketahui bahwa semakin besar arus yang melewati sambungan menghasilkan nilai temperatur setimbang semakin besar dan nilai konstanta waktu semakin kecil. Jadi semakin besar arus yang melewati hambatan yang sama menghasilkan rugi-rugi Joule yang lebih besar dalam waktu yang lebih cepat.

Selanjutnya data tabel 4.5 menunjukkan temperatur setimbang sambungan UU paling rendah dan sambungan UT paling tinggi. Selisih perbedaannya sekitar 1,56 °C atau 2,8% untuk arus uji 100% In dan berbeda 3,74 °C atau 5,3% untuk arus uji 120% In.

Sedangkan akibat perbedaan pemberian arus sebesar 20%, menyebabkan kenaikan nilai temperatur setimbang masing-masing sambungan UT, TU dan UU sebesar 31,8%, 31,1% dan 28,8%.

4.3 Perbandingan Persamaan Empiris Temperatur dengan Persamaan Panjang Sambungan

Untuk membandingkan persamaan empiris grafik hubungan temperatur terhadap waktu seperti dalam tabel 4.4 dengan persamaan panjang sambungan dalam sub bab 4.1 diambil nilai waktu tertentu setelah kondisi temperatur sambungan sudah stabil.

Dari grafik gambar 4.4, pada $t = 100$ menit, temperatur semua sambungan sudah stabil pada kondisi setimbang. Hasil perhitungannya dituliskan dalam tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.6 : Hasil Perhitungan Temperatur dan Panjang Sambungan

Kode Uji Sambungan	Arus Uji	Perhitungan Temperatur [T(100) (°C)]	Perhitungan Panjang Sambungan [Lss (cm)]
UT	100% In	57,44	27,903
	120% In	76,44	
TU	100% In	57,22	27,440
	120% In	74,72	
UU	100% In	56,68	27,440
	120% In	72,46	

Perbandingan temperatur sambungan antar kode uji:

- Untuk arus uji 100% In:

$$\frac{T_{UU}}{T_{UT}} = \frac{56,68}{57,44} = 0,987$$

$$\frac{T_{TU}}{T_{UU}} = \frac{57,22}{56,68} = 1,010$$

$$\frac{T_{TU}}{T_{UT}} = \frac{57,22}{57,44} = 0,996$$

- Untuk arus uji 120% In:

$$\frac{T_{UU}}{T_{UT}} = \frac{72,46}{76,44} = 0,948$$

$$\frac{T_{TU}}{T_{UU}} = \frac{74,72}{72,46} = 1,031$$

$$\frac{T_{TU}}{T_{UT}} = \frac{74,72}{76,44} = 0,977$$

Sedangkan perbandingan panjang sambungan antar kode uji:

$$\frac{L_{ss_UU}}{L_{ss_UT}} = \frac{27,440}{27,903} = 0,983$$

$$\frac{L_{ss_TU}}{L_{ss_UU}} = \frac{27,440}{27,440} = 1,0$$

$$\frac{L_{ss_TU}}{L_{ss_UT}} = \frac{27,440}{27,903} = 0,983$$

Tabel 4.7 : Selisih Perbandingan Hasil Perhitungan T(t) dan Lss

Kode Uji	Perbandingan Temperatur T(t)		Perbandingan Panjang Sambungan Lss	Deviasi T(t)-Lss (%)	
	100% In	120% In		100% In	120% In
UU/UT	0,987	0,948	0,983	0,41	3,56
TU/UU	1,010	1,031	1,0	1,00	3,10
TU/UT	0,996	0,977	0,983	1,32	0,61

Dari data perbandingan dalam tabel 4.7 dapat diketahui selisih antara perbandingan hasil perhitungan temperatur dengan perbandingan hasil perhitungan panjang sambungan (masing-masing dihitung dengan menggunakan persamaan empirisnya) berkisar antara 0,41% s/d 1,32 % untuk arus 100% In dan 0,61% s/d 3,56% untuk 120% In. Artinya persamaan empiris temperatur mempunyai perbandingan yang hampir sama dengan persamaan empiris panjang sambungan. Kesebandingan ini dapat digunakan untuk memprediksikan temperatur suatu sambungan terhadap sambungan lainnya jika kedua sambungan tersebut diketahui teknik penyambungannya.