

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perhitungan Analits sebagai Dasar Pemodelan Sumber Panas Volumetrik dari Proses *Friction Stir Welding* Menggunakan Simulasi *Moving Heat Source*

Pada sub bab berikut ini, akan dibahas data perhitungan analitis Model Sumber Panas Volumetrik dari Proses *Friction Stir Welding* Menggunakan Simulasi *Moving Heat Source*. FEM (*Finite Element Method*) mengasumsikan bahwa sebuah struktur terdiri dari elemen terkecil yang terhubung pada masing – masing nodalnya yang memenuhi suatu jenis dari sebuah persamaan dan kondisi batas tertentu. Berdasarkan hal ini, sebuah persamaan dan kondisi batas yang sesuai perlu diperhatikan untuk menghasilkan keluaran yang mendekati kondisi eksperimental yang hendak dimodelkan dengan *software* FEM.

Untuk kasus FSW kali ini, selain sumber panas permukaan (*surface*), juga diaplikasikan sumber panas volumetrik yang berasal dari deformasi plastis material benda kerja. Sesuai penjelasan pada bab sebelumnya, rumus masukan panas diperlukan agar persebaran panas yang sesuai dengan hasil eksperimen bisa didapatkan, dengan rumus sebagai berikut:

- ✓ Masukan panas akibat gesekan *shoulder* pahat:

$$Q_{\text{shoulder}} = \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{\text{contact}} (R_{\text{shoulder}}^3 - R_{\text{pin}}^3) \times 95\%$$

dimana :

$$\omega = N \times \frac{2\pi}{60} \text{ (rad/s)}$$

$$\tau_{\text{contact}} = \frac{F}{A} \chi \mu \text{ (Pa)}$$

$$N = 2000 \text{ RPM}$$

$$F = 1200 \text{ N}$$

$$A = 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\mu = 0,3$$

sehingga, didapatkan panas pada *shoulder* sebesar : 470 Watt

- ✓ Masukan panas akibat pin pahat:

$$Q_{\text{pin}} = 2\pi r_p h \bar{y} \frac{V_m}{\sqrt{3}} + \frac{2\mu \bar{y} \pi r_p h V_{rp}}{\sqrt{3}(1+\mu^2)} + \frac{4F_p \mu V_m \cos\theta}{\pi}$$

dimana :

$$\theta = 90^\circ - \bar{Y} - \lambda - \tan^{-1}(\mu)$$

$$V_m = \frac{\sin \lambda}{\sin(180^\circ - \theta - \lambda) v_p}$$

$$v_p = r_p \omega$$

$$\bar{Y} = 1012815 \text{ Pa}$$

$$\lambda = 90^\circ$$

$$r_p = 0,0025 \text{ m}$$

$$h = 0,01 \text{ m}$$

sehingga, didapatkan panas yang terjadi pada pin : 96,99 Watt

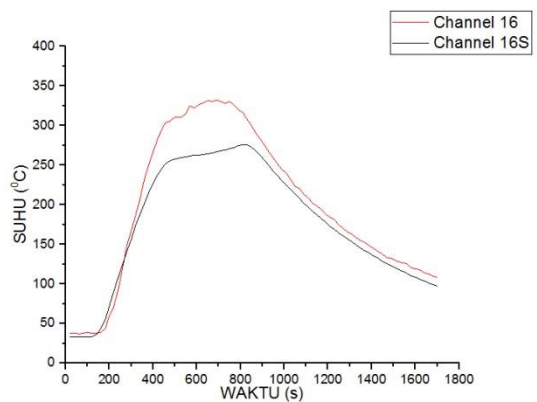
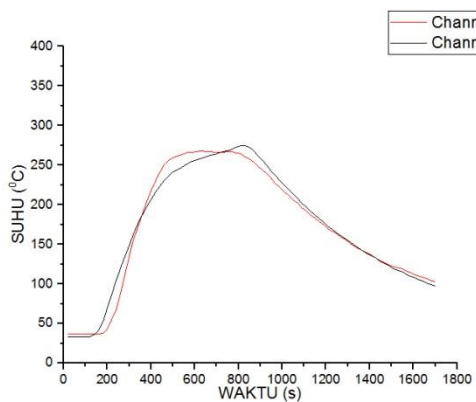
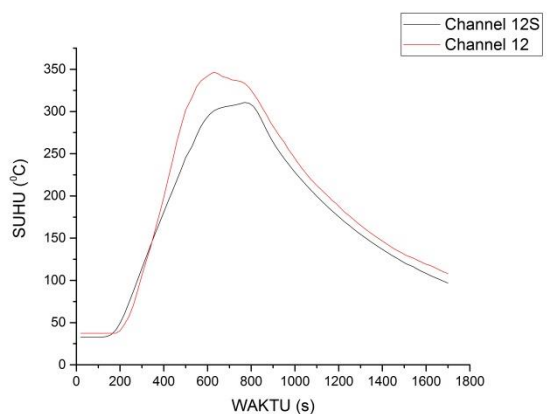
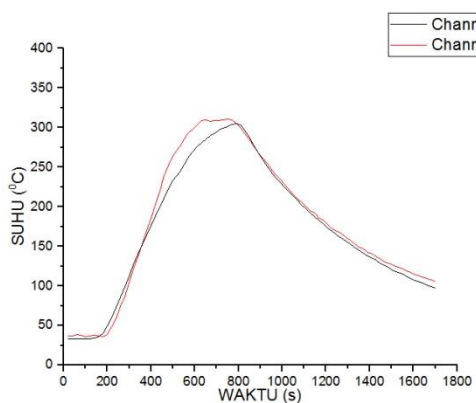
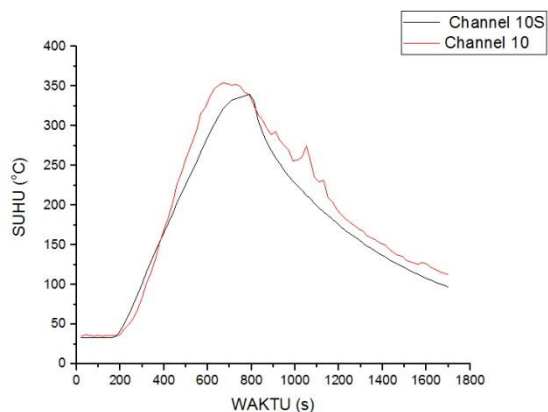
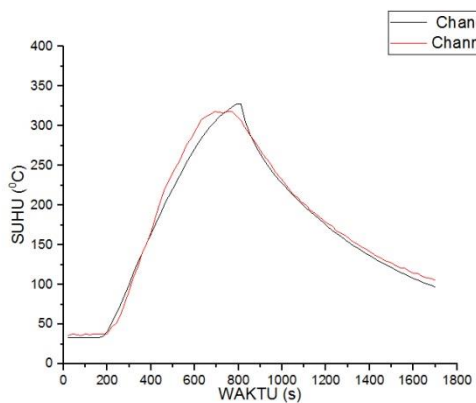
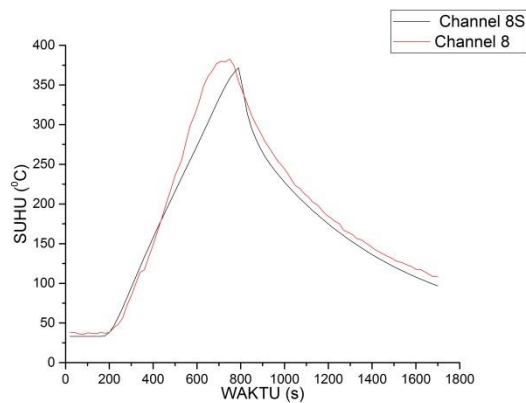
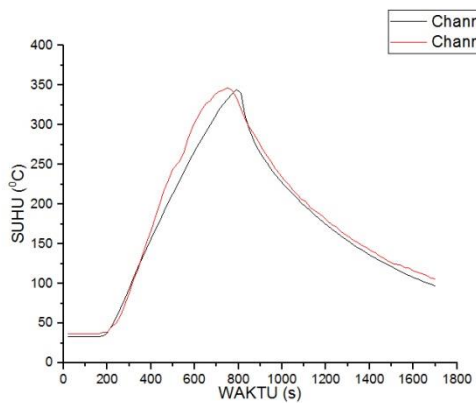
Melalui pengaplikasian rumusan di atas lah, Model Sumber Panas Volumetrik dari Proses *Friction Stir Welding* Menggunakan Simulasi *Moving Heat Source* bisa memetakan persebaran suhu yang hampir sesuai dengan hasil eksperimentalnya. Sehingga, hasil antara simulasi dan eksperimen bisa dipertanggungjawabkan

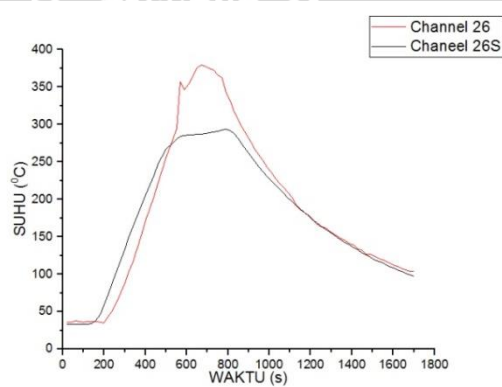
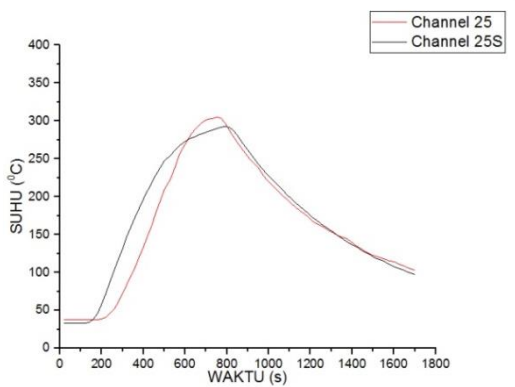
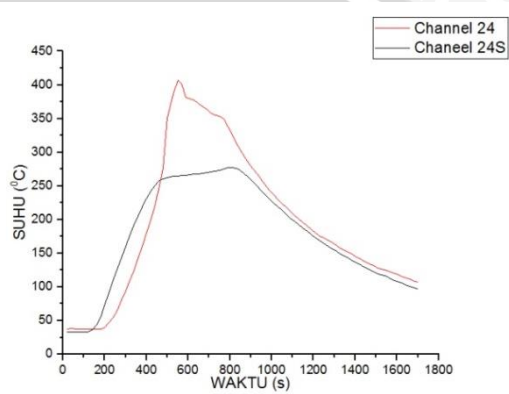
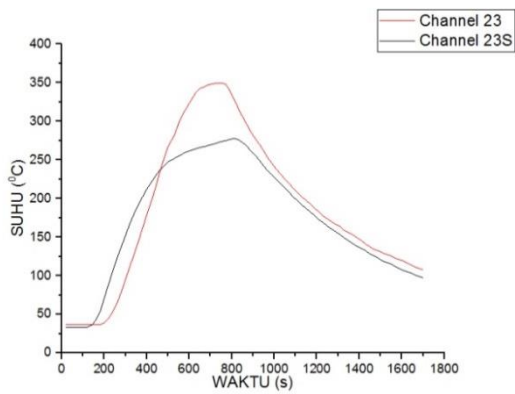
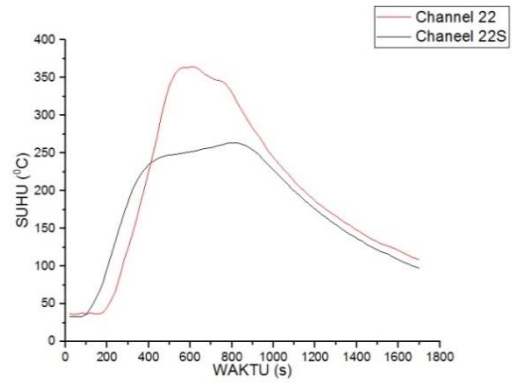
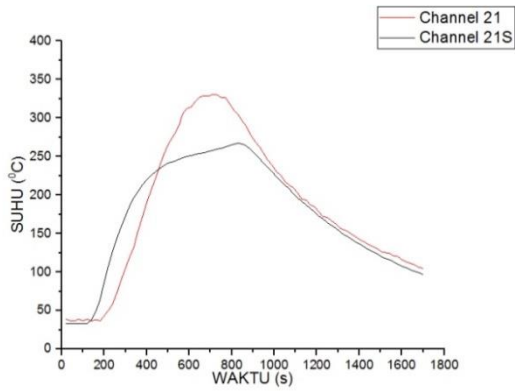
4.2 Analisa Persebaran Suhu dari Proses FSW dengan Perbandingan Antara Studi Eksperimental dan Simulasi

Secara umum, *temperature history* dari pengukuran eksperimental menggunakan termokopel dibandingkan dengan hasil simulasi komputer menunjukkan perbedaan pada tiap titik. Namun, dilihat dari kecenderungan grafik, keduanya memiliki kemiripan pada kurva naik dan turunnya (*heating and cooling*). Maka, hasil simulasi ini bisa diterima.

Perbedaan nilai suhu puncak antara eksperimen dan simulasi merupakan hal yang wajar. Sangat sulit sekali untuk memperoleh nilai yang benar – benar sama, bisa dikarenakan kondisi nyata saat eksperimen berbeda dengan masukan kondisi batas pada simulasi yang dilakukan, sehingga menghasilkan nilai yang berbeda

Selain itu, ada faktor lain yang dapat menyebabkan ketidakcocokan antara nilai yang didapat dari hasil eksperimental dengan nilai yang didapat dari hasil simulasi. Antara lain, ketidaksesuaian letak pemasangan termokopel pada benda kerja eksperimental, sehingga mengakibatkan lokasi panas yang diobservasi pada penelitian eksperimental dan simulasi menjadi berbeda, dan menghasilkan nilai yang berbeda pula. Juga, karena faktor model sumber panas diasumsikan berbentuk simetris, sehingga ada sejumlah bagian (area/volume) dalam eksperimen yang sebenarnya tidak dimasukkan sebagai bagian sumber panas di dalam simulasi.





Tabel 4.1
Suhu puncak dan waktunya pada Channel 7-12, 15 & 16, 21-26

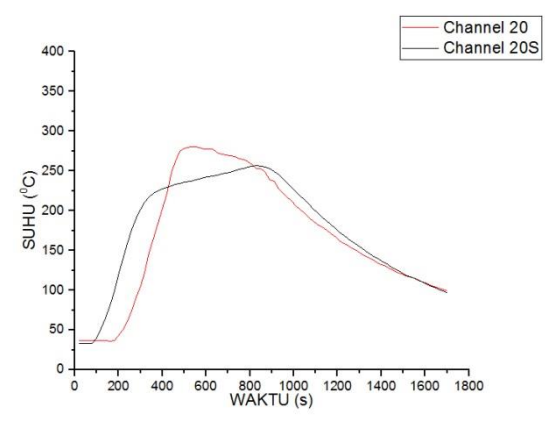
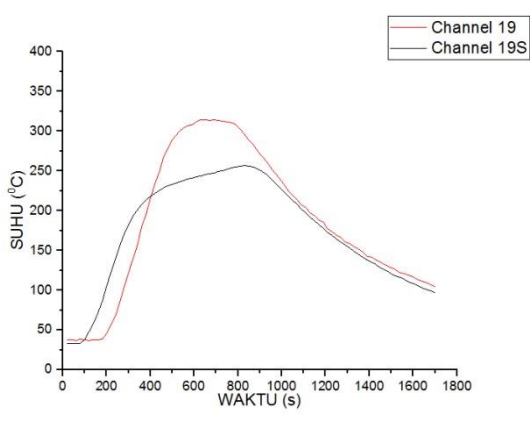
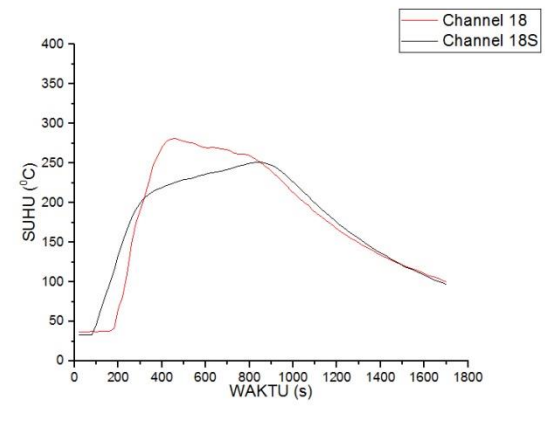
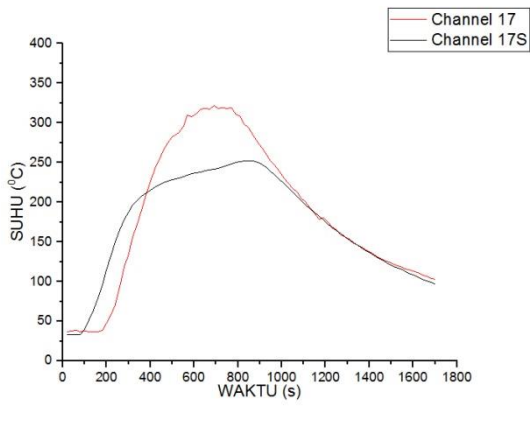
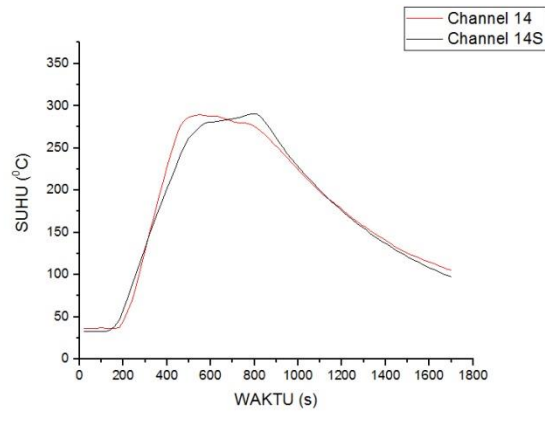
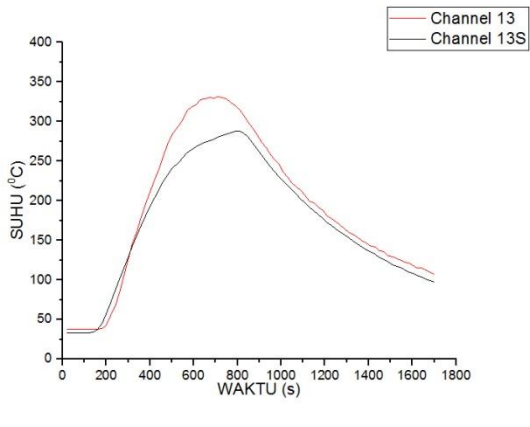
No.	Channel	Suhu Puncak (°C)		Waktu (s)	
		Simulasi	Ekspirimen	Simulasi	Ekspirimen
1.	7 & 8	347,55 & 374,14	346,55 & 382,68	800	747
2.	9 & 10	329,18 & 341,14	318,28 & 354,24	800	747 & 666
3.	11 & 12	310,81 & 313,55	311,07 & 346,52	800	747 & 626
4.	15 & 16	279,85 & 279,99	268,12 & 332,25	800	626 & 686
5.	21 & 22	269,69 & 269,65	330,91 & 364,47	800	707 & 606
6.	23 & 24	280,94 & 280,78	349,51 & 406,39	800	747 & 545
7.	25 & 26	296,99 & 296,84	305,48 & 379,85	800	747 & 666

Grafik pada dua halaman sebelumnya menunjukkan tren pemanasan dan pendinginan (*heating and cooling*) dari grafik persebaran suhu FSW secara eksperimen maupun simulasi memiliki kemiripan. Ini bisa disebabkan karena parameter yang mempengaruhi pemanasan dan pendinginan, seperti koefisien termal (h) pada simulasi sudah mendekati nilai h pada eksperimen

Perbedaan nilai suhu puncak antara eksperimen dan simulasi merupakan hal yang wajar. Sangat sulit sekali untuk memperoleh nilai yang benar – benar sama, bisa dikarenakan nilai parameter kondisi nyata saat eksperimen berbeda dengan masukan kondisi batas pada simulasi yang dilakukan, sehingga menghasilkan nilai yang berlainan. Juga, hal ini bisa disebabkan karena pada eksperimen peletakan termokopel tidak sesuai pada tempatnya, sehingga mempengaruhi nilai suhu yang didapat

Namun, baik pada eksperimen maupun simulasi, suhu puncak pada chanel genap **lebih tinggi** daripada chanel ganjil. Hal ini disebabkan karena letak titik pengamatan suhu chanel genap lebih dekat dengan sumber panas daripada chanel ganjil, sehingga masih banyak panas yang terdapat pada lokasi tersebut, yang mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu.

Sesuai dasar teori, pada perpindahan panas secara konduksi, konveksi, atau radiasi dengan kondisi dimana perbedaan suhu semakin meningkat, menaikkan pula nilai panas keluar. Sementara itu, Panas yang masuk (*Heat Input*) lebih besar daripada panas yang terkonveksi/terkonduksi/terradiasi ke luar (lingkungan) mengakibatkan suhu meningkat sepanjang lintasan lasan. Namun, sampai titik puncaknya, suhu semakin menurun akibat panas yang tersisa setelah pengelasan berangsur – angsur menghilang akibat efek konduksi, konveksi, atau radiasi.



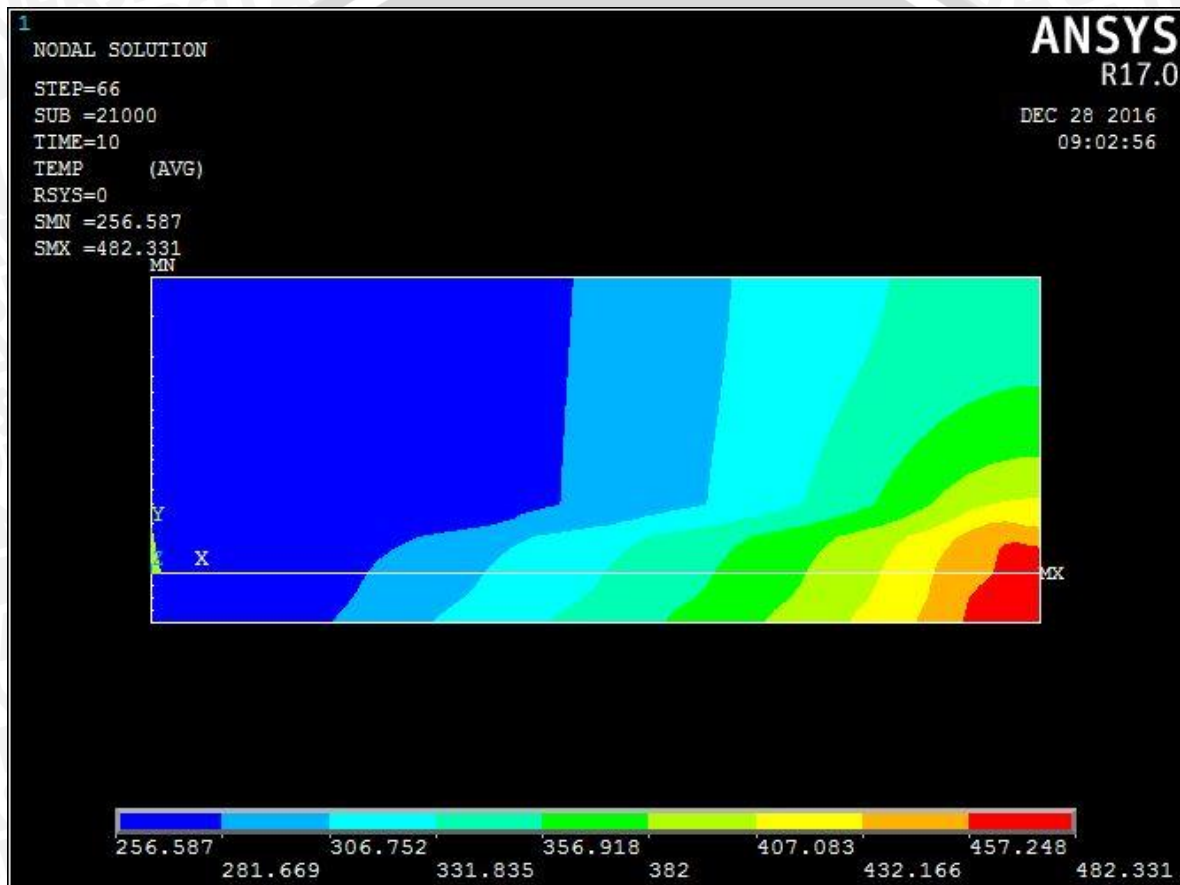
Tabel 4.2
Suhu puncak dan waktunya pada Channel 13 & 14, 17 - 20

No.	Channel	Suhu Puncak (°C)		Waktu (s)	
		Simulasi	Eksperimen	Simulasi	Eksperimen
1.	13 & 14	293,11 & 294,94	331,42 & 289,56	800	707 & 545
2.	17 & 18	258,87 & 258,99	322,20 & 281,86	800	686 & 464
3.	19 & 20	262,64 & 262,74	314,82 & 280,39	800	646 & 525



Sementara itu, pada channel 13 & 14 serta 17 – 20, suhu puncak pada channel ganjil ***lebih tinggi*** daripada channel genap. Hal ini merupakan sebuah penyimpangan dimana seharusnya suhu pada channel genap lebih tinggi daripada channel yang ganjil mengingat posisinya terhadap sumber panas. Kejadian seperti ini bisa disebabkan karena adanya eror pada termokopel pada saat pengukuran. Sementara itu, keluaran simulasi sudah menunjukkan hasil yang sesuai dengan teori.

4.3 Kondisi *Quasi Steady – State* pada FSW



Gambar 4.1 Gradien suhu proses FSW

Dalam pengelasan, seluruh proses perubahan dan perpindahan panasnya bersifat *transient*. *Quasi steady – state* dalam pengelasan didefinisikan sebagai keadaan dimana proses perubahan dan perpindahan panas selama pengelasan menjadi *steady* dikarenakan variasi parameter pengelasan yang sudah setimbang (*equilibrium*) terhadap waktu dan posisi pengelasan. Suhu, panas, torsi, dan gaya yang bekerja pada pahat dan daerah sekitarnya menjadi konstan.

Quasi steady – state merupakan proses yang paling penting di dalam FSW. Desain dan kontrol yang sesuai terhadap parameter – parameter pengelasan pada kondisi ini

berpengaruh besar pada konsistensi kualitas lasan. Secara teoritis, setelah beberapa waktu, suhu pada suatu daerah tertentu terhadap koordinat sumber panas yang bergerak menjadi *steady*. *Quasi steady – state* diamati dengan mendata distribusi suhu sepanjang koordinat berjalan, searah sumber panas lasan di saat setelah meninggalkan titik awal lasan

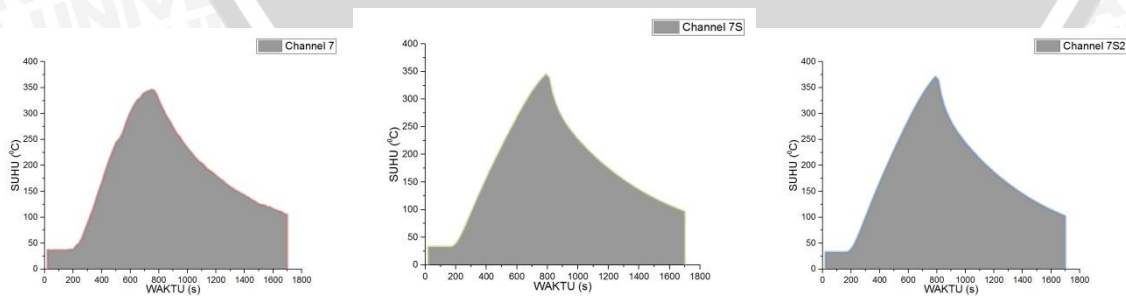
Pada simulasi kali ini, tidak dijumpai adanya *Quasi steady – state*, bisa dilihat pada tampilan gradien suhu di Gambar 4.11, tidak terjadi adanya penyeragaman suhu (*temperature uniform*) sepanjang daerah pengelasan, terutama di daerah sekitar pahat.

Hal ini mungkin diakibatkan karena adanya masukan pada salah satu dari beberapa parameter pengelasan yang tidak konsisiten, dimana seperti yang sudah dijabarkan sebelumnya, sangat penting menjaga konsistensi dalam memasukkan parameter – parameter pengelasan untuk mencapai kondisi *Quasi steady – state*.

Upaya yang bisa dilakukan untuk mencegahnya antara lain dengan mengontrol masukan panas (*Heat input*) pada pengelasan. Yang pada simulasi ini digunakan variasi tekanan dan kecepatan sebagai fungsi *Heat Input*, sehingga jika ingin menjaga nilai *Heat Input* konstan, gaya tekan pahat dan kecepatan pengelasan bisa dinaikkan nilainya. Karena, pada pengelasan kali ini, gaya tekan yang terjadi tergolong kecil (1,2 kN) dibandingkan gaya tekan pada penelitian FSW yang lain (rata – rata bisa 10-20 kalinya), atau juga bisa dengan meningkatkan kecepatan pengelasan yang semula 2,5 mm/menit menjadi lebih tinggi lagi.

4.4 Error Hasil Simulasi Terhadap Hasil Eksperimen dan Model Sumber Panas Area

Sebagai upaya untuk memvalidasi antara hasil eksperimen dan hasil simulasi, perlu dibuat toleransi error pada keduanya. Metode penarikan error dicari dengan menggunakan perbandingan luas area di bawah grafik. Ditambahkan pula error simulasi FSW volumetrik terhadap hasil simulasi model sumber panas area sebagai perbandingan.



Gambar 4.2 Perbandingan luas bawah grafik

Tabel 4.3
Error Grafik Simulasi Volumetrik, Area dan Hasil Eksperimental FSW

Channel	Luasan			Error (%)		
	Volumetrik	Area	Eksperimen	V/A	V/E	A/E
7	14.801	15.872	1	7.235	4.868	2.015
8	15.040	16.127	16.046	7.226	6.267	0.506
9	14.867	15.951	15.256	7.287	2.550	4.552
10	15.141	16.252	16.533	7.336	8.418	1.700
11	14.917	16.340	15.490	9.536	3.699	5.484
12	16.227	17.088	17.697	5.311	8.307	3.437
13	14.955	16.063	16.380	7.406	8.696	1.933
14	16.274	17.488	16.479	7.458	1.244	6.121
15	14.957	16.073	14.856	7.461	0.683	8.195
16	14.957	16.407	17.158	9.694	12.829	4.379
17	14.855	16.178	16.051	8.905	7.452	0.789
18	14.982	16.012	15.399	6.874	2.708	3.980
19	14.982	16.349	16.057	9.125	6.693	1.821
20	15.158	16.106	14.503	6.251	4.515	11.049
21	15.079	16.457	15.853	9.139	4.883	3.809
22	15.269	16.177	17.275	5.951	11.612	6.353
23	15.111	16.496	16.200	9.172	6.728	1.827
24	15.111	14.410	15.009	4.638	0.677	3.993
25	15.359	16.486	14.182	7.337	8.299	16.245
26	15.359	16.202	16.127	5.488	4.765	0.462
Rata – rata				6.978	4.377	2.253

