

## Model Matematika Proses Pelelehan Flux Pada Mesin Ekstruder (Proses Pelelehan *Flux*)

Ayu Lintang <sup>\*</sup>), Lukmanul Hakim dan Doddy Guntama

Teknik Kimia Universitas Jayabaya

Jalan Raya Bogor km 28,8, Cimanggis Jakarta Timur

<sup>\*</sup>)Corresponding author : alintangcahyani@gmail.com

### Abstract

Indonesia is the largest tin manufacturer in the world. One of the uses of tin is as a soldering component. The tin used to solder components is tin in the form of wire with flux filling (cored flux). One of the stages in the manufacture of tin wire is the extrusion process using an extruder with a flux melting tank. The problem that often occurs in the production process of wire cored flux is the presence of empty cored sections that reduce product quality. To overcome this problem, a study was carried out to determine the physical properties of the flux and the quality of heat transfer in the tank and pestle jacket. Temperature data collection was carried out at start-up flux melting for 25-30 minutes with intervals every 2 minutes. Data is processed using Matlab application simulations and manual calculations using data tools. Based on the research data, the  $H_f$  data obtained on the SD-61, SD-82, and NS-31 flux were 125.4589 Kkal Kg<sup>-1</sup>, 203.0107 Kkal Kg<sup>-1</sup>, and 469.7262 Kkal Kg<sup>-1</sup>, respectively. The  $C_p$  data for SD-61, SD-82, and NS-31 fluxes were 1.9755 Kkal/KgK, 1.9001 Kkal/KgK, and 1.9790 Kkal/KgK, respectively. The simulation data shows that the quality of heat transfer in the heater and alu jacket is still in good condition with an average heat transfer difference of 0.475 Kcal or 0.135%.

### Abstrak

Indonesia merupakan produsen timah terbesar di dunia. Timah memiliki kegunaan salah satunya sebagai soldering komponen. Timah yang digunakan untuk menyolder komponen adalah timah dalam bentuk *wire* dengan pengisi *flux* (*cored flux*). Salah satu tahapan proses dalam pembuatan *tin wire* adalah proses ekstrusi menggunakan ekstruder dengan tangki pelelehan *flux*. Masalah yang sering terjadi pada proses produksi *wire cored flux* adalah adanya penampang *cored* yang kosong sehingga menurunkan kualitas produk. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dilakukan penelitian untuk mengetahui sifat fisik *flux* dan kualitas transfer panas pada tangki serta *alu jacket*. Pengambilan data suhu dilakukan pada saat *start up* pelelehan *flux* selama 25-30 menit dengan interval waktu per 2 menit sekali. Data diolah dengan menggunakan simulasi aplikasi Matlab dan perhitungan manual dengan menggunakan data alat. Berdasarkan data penelitian, didapatkan data  $H_f$  pada flux SD-61, SD-82, dan NS-31 berturut-turut sebesar 125,4589 kkal kg<sup>-1</sup>, 203,0107 kkal kg<sup>-1</sup>, dan 469,7262 kkal kg<sup>-1</sup>. Data  $C_p$  pada flux SD-61, SD-82, dan NS-31 berturut-turut sebesar 1,9755 kkal/kgK, 1,9001 kkal/kgK, dan 1,9790 kkal/kgK. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa kualitas transfer panas pada heater dan *alu jacket* masih dalam keadaan baik dengan selisih rata-rata panas transfer sebesar 0.475 Kkal atau 0.135%.

**Kata kunci** : Timah, Ekstruder, Flux, Panas transfer

## PENDAHULUAN

Timah merupakan logam dengan komposisi terkecil yang dihasilkan setiap tahun, yaitu kurang dari 300.000 ton pertahun [1]. Timah dapat digunakan sebagai pelat timah untuk keperluan kemasan dan tabung serta pipa timah, timah solder, *tinrod* yang nantinya akan dibentuk menjadi kawat timah, *tin profile*, *tin powder*, produk *casting* dan *die casting*, sambungan pipa atau *pipe fitting*, dan yang paling utama adalah sebagai komponen elektronik serta automotif [2]. Pertumbuhan kebutuhan akan otomotif terus meningkat [3]. *Trend* kebutuhan sepeda motor dari tahun 2010 sampai dengan 2019 terus meningkat, walaupun terjadi penurunan pada tahun 2020 tetapi potensial pertumbuhannya lebih tinggi [4]. Berdasarkan data BPS tahun 2019, disebutkan bahwa kebutuhan telepon seluler meningkat 88.4% sejak 2015 [5]. Peningkatan tersebut menjadi sebuah potensi bisnis bagi perusahaan timah soldering. Potensi tersebut dikarenakan kebutuhan komponen pada industri automotif dan elektronik yang semakin berkembang. Salah satu kegunaan utama timah pada industri tersebut adalah sebagai perekat komponen atau perekat antar komponen satu dengan yang lain dengan metode soldering. Pada proses penyolderan komponen digunakan timah soldering dengan *cored flux* untuk mendapatkan hasil solderan yang baik. *Flux* pada *wire* bertujuan untuk mengurangi oksidasi permukaan agar timah dapat menempel sempurna pada permukaan PCB [6]

Pada proses produksi timah soldering, terdapat sebuah proses yang disebut proses ekstrusi. Proses ekstrusi adalah proses pereduksian penampang bilet agar dapat diteruskan ke proses selanjutnya. Proses ekstrusi dibutuhkan sebuah alat yang disebut ekstruder [7]. Pada ekstruder untuk aplikasi *cored wire* digunakan ekstruder khusus agar dapat mengisi *cored* dengan *flux* yang dialirkan pada saat proses ekstrusi [1]. Pada anatomi mesin, terdapat beberapa bagian penting yang harus diperhatikan, salah satunya adalah bagian yang berhubungan langsung dengan kualitas produk. Energi panas yang berkerja pada mesin ekstrusi merupakan bagian penting pada saat proses tersebut [8]. Salah satu bagian penting yang harus diperhatikan adalah tangki *flux* (*alujacket*) yang berfungsi sebagai media pelelehan *flux* sebelum ditransfer pada pengisi *cored*. Monitoring preventif dan korektif harus dilakukan untuk mengetahui efektivitas proses pelelehan. Dengan mengetahui jumlah panas yang terbuang, maka dapat diketahui kualitas panas yang dialirkan oleh heater menuju *alujacket* untuk proses pelelehan dan menjaga kualitas *flux* tetap liquid agar dapat dialirkan.

Pemantauan kualitas panas pada saat proses ekstrusi di PT Solder Indonesia terus dikembangkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik flux dan kualitas transfer panas pada tangki serta *alu jacket* pada mesin ekstruder. Metode simulasi numerik pada saat proses perpindahan panas diharapkan dapat menjadi solusi untuk mengetahui kualitas alat secara langsung.

## METODE PENELITIAN

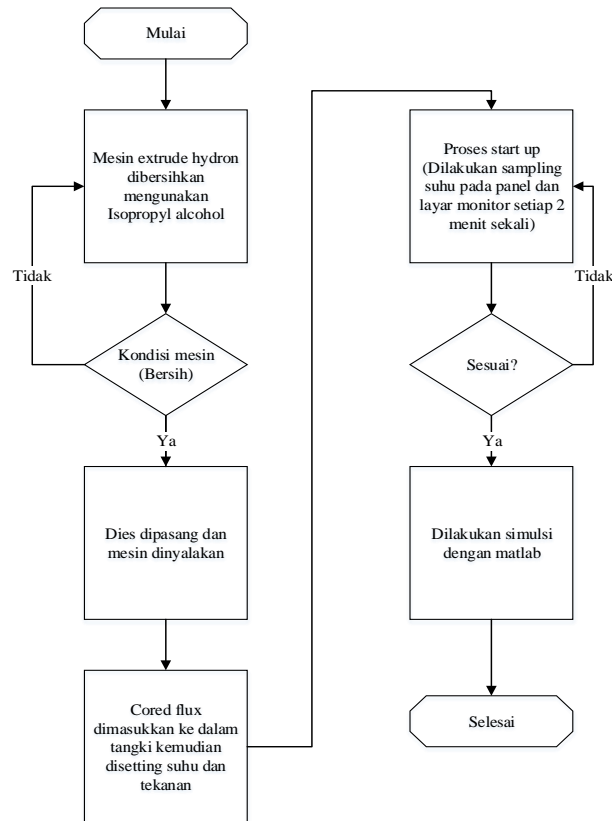
### Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada percobaan ini mencakup Mesin Extruder Hydron Unipress, PC merek Hp, aplikasi Hydron Unipress, dan Matlab. Bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah Timah putih (Sn), *cored flux* (SD-61, SD-82, dan NS-31), dan *Isopropyl alcohol*.

### Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri atas 3 tahapan yaitu persiapan yang mencakup proses pembersihan alat dan *setting* mesin, proses sampling temperatur yang diambil per dua detik selama proses *startup*

selama 25 sampai dengan 30 menit, dan proses pengolahan data dengan simulasi metode *curve fitting* menggunakan *software* Matlab. Diagram penelitian tersaji pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Setelah didapatkan data, selanjutnya data tersebut dilakukan pemodelan matematika hubungan antara jumlah massa flux dan jenis flux dibentuk dapat dilihat pada persamaan berikut [12]

$$Input - Output \pm Reaksi = Akumulasi \quad (1)$$

$$UA(T_s - T) - H_f m = m C_p \frac{dT}{dt} \quad (2)$$

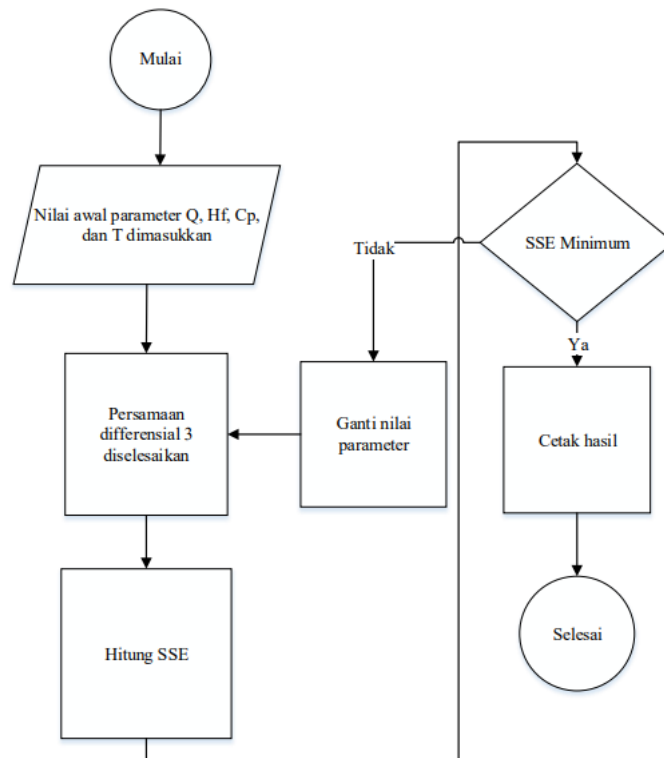
$$\frac{dT}{dt} = \frac{UA}{m C_p} (T_s - T) - \left(\frac{H_f}{C_p}\right) \quad (3)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q}{m C_p} - \left(\frac{H_f}{C_p}\right) \quad (4)$$

Dimana T adalah temperatur (K) , t adalah waktu (menit) , m adalah massa flux (Kg), Cp adalah kapasitas panas zat (Kkal/Kg K), Hf adalah panas penguapa zat (Kkal/Kg), Q adalah panas yang ditransfer (Kkal). Persamaan diferensial di atas dapat diselesaikan secara numeris dengan metode Runge Kutta Orde 4 dengan memasukkan kondisi awal saat t=0 maka T=Tempertur Lingkungan. Nilai Q, Cp, Hf, dan temperatur dapat dicari dengan cara minimasi dari *Sum Square of Error* (SEE) pada persamaan di bawah ini:

$$SSE = \sum(T_{data} - T_{hitung})^2 \quad (5)$$

Algoritma perhitungan penyelesaian persamaan di atas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Pemrograman

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini diambil sampling suhu selama waktu startup pada 3 jenis *flux* yang berbeda. Data temperatur startup masing-masing dapat dilihat pada Tabel 1 hingga Tabel 3.

Pada Tabel 1 hingga Tabel 3 tampak bahwa suhu akan terus meningkat sesuai dengan bertambahnya waktu. Panas yang terus merambat dari *heater* menuju tangki pada proses pelelehan *flux* terjadi karena perbedaan suhu antara dua objek [9]. Panas akan bertransisi dari suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah [10]. Pada saat suhu chamber telah tercapai, maka *flux* akan dilanjutkan dengan proses pelelehan *flux*.

Proses ekstrusi akan berjalan setelah suhu *working chamber* serta suhu tangki *flux* (*alu jacket*) telah tercapai [11]. Sesuai dengan data trial yang telah dilakukan, setelah suhu tercapai maka *flux* akan optimum membentuk lelehan yang dapat dialirkan melalui pipa untuk masuk ke dalam *cored* pada saat proses ekstrusi. Pengkondisian suhu pada pipa sangat berpengaruh pada proses transfer *flux* yang mengisi *cored*, jika dalam proses terdapat ketidaksesuaian suhu, maka akan terjadi sebuah konsekuensi *flux* tidak meleleh sempurna dan tidak mengisi inti *cored*. *Wire* yang tidak terisi oleh *flux* akan menyebabkan penurunan kualitas produk dan akan menyebabkan *wire* mudah putus. Berikut ini adalah grafik kenaikan suhu dari masing-masing *flux*.

Tabel 1. Data suhu proses startup pelelehan *flux* SD-61

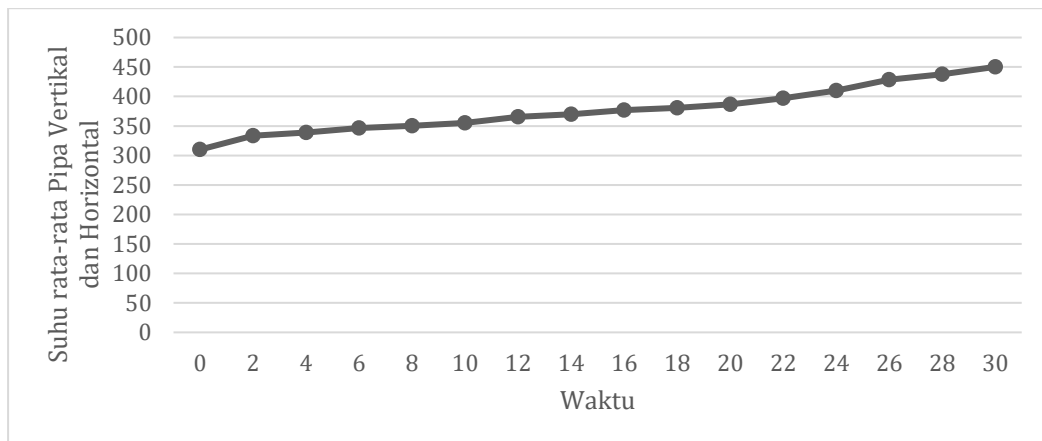
No	T (Menit)	Suhu Pipe Vertical (K)	Suhu Pipe Horizontal (K)	Rata-Rata Suhu Pipe (K)	Alujacket (K)
1	0	309,8	309,8	309,8	309,8
2	2	319,9	325,5	322,7	322,4
3	4	324,9	331,2	328,05	332,7
4	6	338,2	342,3	340,25	343,9
5	8	340,3	357	348,65	348,5
6	10	347,1	362,3	354,7	352,1
7	12	352,8	372,9	362,85	366,8
8	14	363	378,2	370,6	372,2
9	16	377,9	381	379,45	387,4
10	18	382,2	389,7	385,95	394,1
11	20	397,6	396	396,8	401
12	22	402,3	399,9	401,1	416,4
No	T (Menit)	Suhu Pipe Vertical (K)	Suhu Pipe Horizontal (K)	Rata-Rata Suhu Pipe (K)	Alujacket (K)
13	24	414,2	413,8	414	423,8
14	26	433,4	436,2	434,8	431,5
15	28	449,2	442,1	445,65	445,7
16	30	450,4	447,9	449,15	449,8

Tabel 2. Data suhu proses startup pelelehan *flux* SD-82

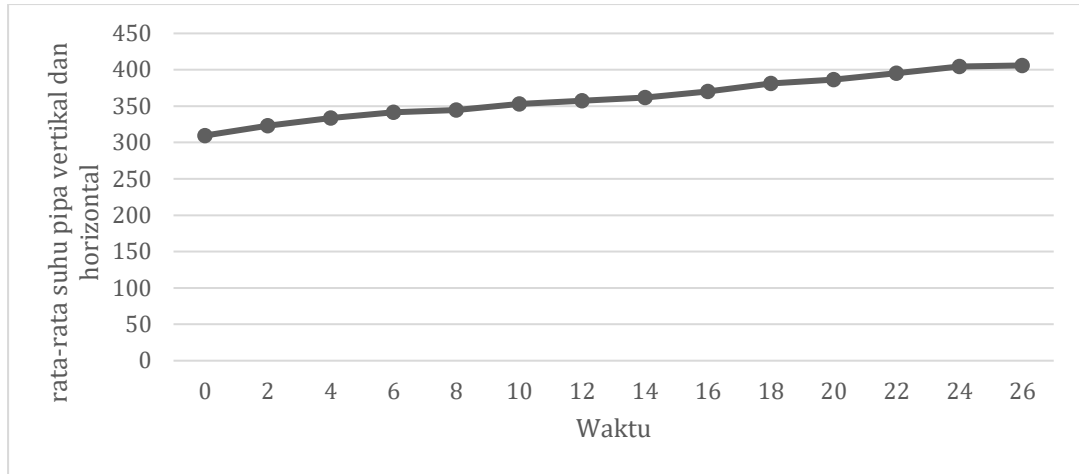
No	T (Menit)	Suhu Pipe Vertical (K)	Suhu Pipe Horizontal (K)	Rata-Rata Suhu Pipe (K)	Alujacket (K)
1	0	309,6	309,6	309,6	309,6
2	2	324,7	321,8	323,25	328
3	4	338,9	328,2	333,55	336,2
4	6	347,8	335,1	341,45	345,5
5	8	352,6	336,6	344,6	347,6
6	10	362	343,8	352,9	351,9
7	12	366,9	348,1	357,5	357,7
8	14	371,7	352	361,85	362,9
9	16	378,3	362	370,15	379,1
10	18	384,9	377,6	381,25	385,8
11	20	389,2	383,9	386,55	387,7
12	22	393	397,8	395,4	396,9
13	24	407,1	401,6	404,35	409
14	26	417,3	421,6	419,45	425,3
15	28	434,5	436,4	435,45	434,5

Tabel 3. Data suhu proses startup pelelehan *flux* NS-31

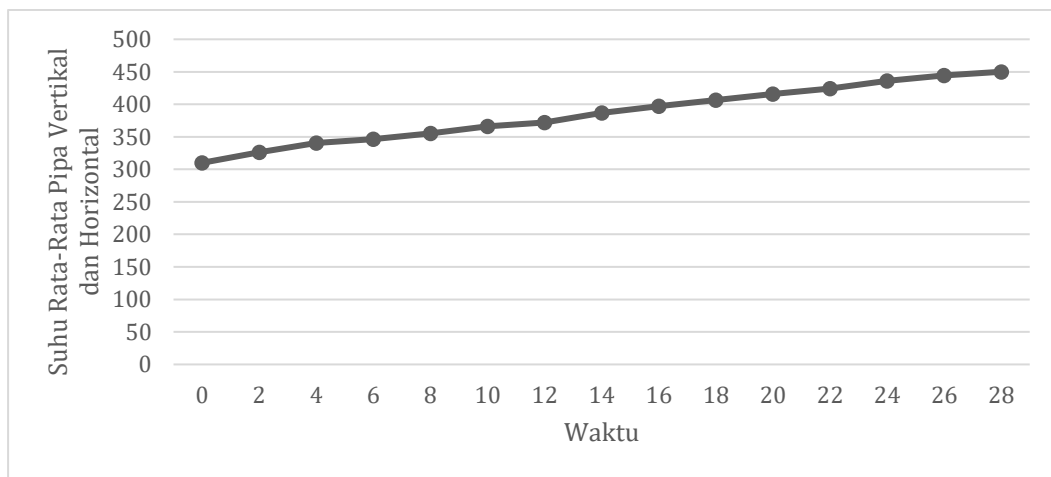
No	T (Menit)	Suhu Pipe Vertical (K)	Suhu Pipe Horizontal (K)	Rata-Rata Suhu Pipe (K)	Alujacket (K)
1	0	310	310	310	309,6
2	2	329,1	323,7	326,4	326,2
3	4	348,7	332,2	340,45	334,2
4	6	353,3	339,9	346,6	349
5	8	362,4	348,1	355,25	359,2
6	10	378,1	353,9	366	364,3
7	12	382,4	362,1	372,25	369,1
8	14	397	376,4	386,7	387
9	16	405	389,1	397,05	392,4
10	18	419	394,2	406,6	407,9
11	20	424,2	407,9	416,05	414,3
No	T (Menit)	Suhu Pipe Vertical (K)	Suhu Pipe Horizontal (K)	Rata-Rata Suhu Pipe (K)	Alujacket (K)
12	22	429	419,9	424,45	428,1
13	24	438	434,3	436,15	436,3
14	26	444,1	445	444,55	440
15	28	450,1	450	450,05	449,9



Gambar 1. Startup suhu *flux* SD-61



Gambar 2. *Startup* suhu flux SD-82



Gambar 3. *Startup* suhu flux NS-31

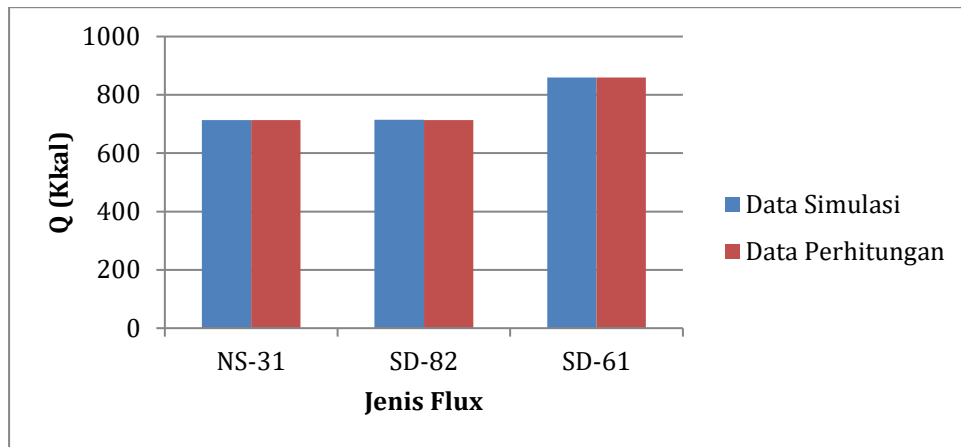
Dari data suhu yang telah didapat, maka jumlah panas yang ditrasfer selama proses startup dapat dicari menggunakan simulasi dengan Matlab. Perhitungan didasarkan pada neraca energi proses yang dijabarkan sebagai berikut [12]:

Tabel 4 Hasil Simulasi Matlab

Flux	Quantity proses (kg)	Q (kkal)	Hf (kkal kg <sup>-1</sup> )	Cp (kkal/kg K)	Temperatur (K)	SSE
NS-31	3.5	713,0000	203,0107	1,9001	422,000	251,6859
SD-61	6.4	859,0000	125,5579	1,9798	432,000	874,5095
SD-61	1.1	132,4820	111,4971	1,9712	377,000	326,1354
SD-61	5,1	687,3125	125,3617	1,9754	400,000	210,9087
SD-82	1.5	716,7797	469,7262	1,9790	375,000	398,4120

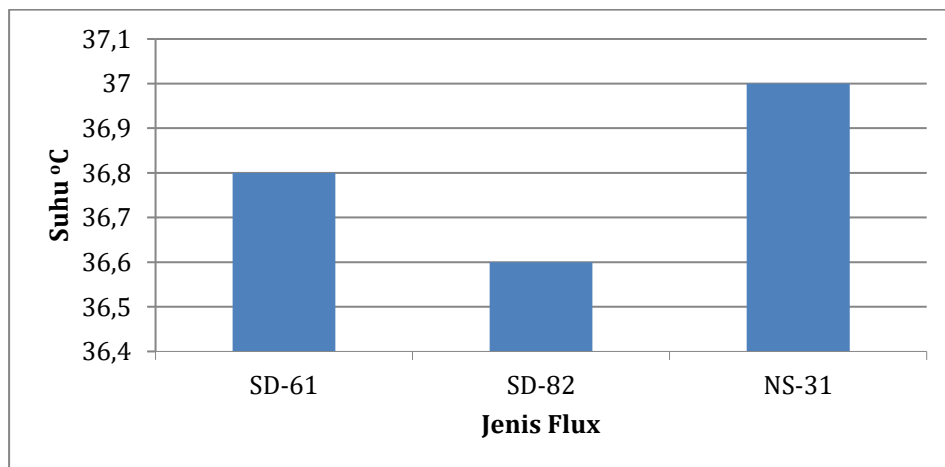
Dengan menggunakan persamaan tersebut, jumlah panas yang ditransfer dapat diketahui. Dengan mengetahui jumlah panas yang ditransfer dari program simulasi dan perhitungan sesuai spesifikasi *heater*, maka dapat diketahui jumlah panas yang hilang selama proses startup berlangsung. Tabel 4 merupakan rekapitulasi hasil simulasi dengan menggunakan Matlab. Jumlah

panas yang diketahui dapat digunakan untuk mengetahui estimasi biaya proses saat startup sehingga biaya yang terbuang dapat dicari. Berikut ini adalah diagram perbandingan besarnya panas yang ditransfer selama proses



Gambar 4. Perbandingan panas yang ditransfer dengan simulasi dan perhitungan spek alat

Pada Gambar 5 di atas tampak bahwa nilai kalor yang ditransfer pada saat proses *start up* antara perhitungan dengan menggunakan spek *heater* dan perhitungan dengan simulasi aplikasi Matlab tidak berbeda jauh. *Heat loss* yang terjadi saat proses *start up* adalah sebesar 0.475 kkal atau sebesar 0.135% dari total panas yang ditransfer. *Heat loss* yang terjadi pada alujacket dapat terbilang kecil. *Heat loss* pada sebuah alat dapat dipengaruhi oleh suhu lingkungan [13]. Suhu lingkungan yang semakin rendah akan menyebabkan panas yang ditranfer ke lingkungan akan semakin tinggi, sehingga temperatur yang dihasilkan akan semakin besar dan energi akan semakin besar pula [14]. Hal ini dapat dilihat pada temperature lingkungan pada proses pelelehan SD-82. Proses pelelehan SD-82 dilakukan pada suhu 36.6 °C. Berikut adalah Gambar yang menyajikan perbedaan suhu pada saat *start up* pelelehan.



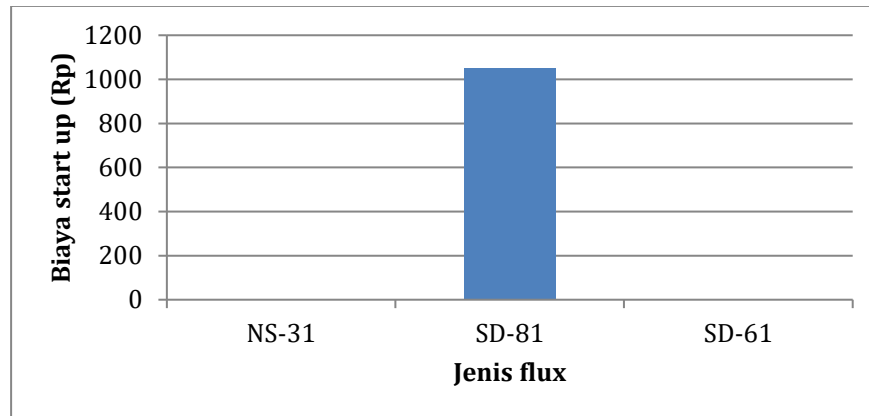
Gambar 5. Suhu lingkungan saat proses startup pelelehan *flux*

Pada Gambar tampak temperatur yang lebih kecil akan menjadikan panas keluar dari sistem menuju lingkungan [10]. Apabila jumlah panas yang ditransfer ke lingkungan semakin besar maka perlu adanya sebuah tindakan yang diambil untuk mengontrol besarnya panas yang terbuang. Tindakan prefentif seperti kontrol suhu lingkungan dapat dilakukan dan dibakukan sebagai standar proses untuk menghindari *heat loss* maupun panas yang terakumulasi berlebihan. Berdasarkan data



*heat loss* yang didapat dari simulasi Matlab, dapat disimpulkan bahwa *alujacket* dan *heater* masih dalam keadaan baik.

*Heat loss* yang terjadi pada proses tidak hanya menyebabkan adanya indikasi kinerja heater dan kualitas alujacket yang menurun, tetapi juga dapat menaikkan biaya proses jika tidak segera dilakukan perbaikan. Adanya proses produksi yang hemat energi dengan produk yang optimal akan dapat mengurangi biaya produksi sehingga menaikkan laba perusahaan [15]. Berikut adalah Gambar yang menyajikan jumlah biaya yang terbuang akibat *heat loss* pada saat proses pelelehan *flux*.



Gambar 6. Biaya yang terbuang selama proses startup

Berdasarkan Gambar 7 tersaji bahwa biaya yang terbuang pada saat *start up* terbesar ada pada *flux* SD-82 yaitu sebesar Rp 1.052. Besarnya biaya yang terbuang dipengaruhi oleh jumlah kalor yang terbuang. Tampak pada *flux* SD-82 suhu ruang saat start up yaitu 36.6 °C dimana suhu tersebut lebih kecil dibandingkan *flux* SD-61 dan NS-31 secara berturut-turut sebesar 36.8 °C dan 37 °C. Sesuai dengan penelitian sebelumnya mengenai *heat loss*, salah satu faktor yang mendukung adanya energi yang terbuang ke lingkungan adalah adanya cuaca buruk yaitu suhu lingkungan lebih rendah [15]. Jika dirata-ratakan, maka jumlah biaya yang terbuang selama proses start up yaitu sebesar Rp 350.

## KESIMPULAN

Berdasarkan data penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan data  $H_f$  pada flux SD-61, SD-82, dan NS-31 berturut-turut sebesar 125,4589 kkal kg<sup>-1</sup>, 203,0107 kkal kg<sup>-1</sup>, dan 469,7262 kkal kg<sup>-1</sup>. Data  $C_p$  pada flux SD-61, SD-82, dan NS-31 berturut-turut sebesar 1,9755 kkal/kgK, 1,9001 kkal/kgK, dan 1,9790 kkal/kgK. Berdasarkan data hasil simulasi menunjukkan bahwa kualitas transfer panas pada heater dan *alu jacket* masih dalam keadaan baik dengan selisih rata-rata panas transfer sebesar 0.475 kkal atau 0.135%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Solder Indonesia atas fasilitas yang diberikan dalam proses pengambilan data pada penelitian ini.

## DAFTAR NOTASI

- Q = Laju Perpindahan Kalor (Kkal)  
K = Konduktivitas Thermal (W/M.K)

A	= Luas penampang (meter)
$hc$	= koefisien Perpindahan Panas Konveksi ( $W/m^2.K$ )
T	= Suhu (Kelvin)
$\Sigma$	= konstanta Stefan boltzman ( $5,669 \times 10^{-8} W/m^2 .K^4$ )
$m$	= Masa flux (Kg)
Cp	= Panas Jenis ( $Kkal Kg^{-1} K^{-1}$ )
Hf	= Panas pelelehan <i>flux</i> ( $Kkal Kg^{-1}$ )

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Juliyanti, “Analisis Logam Timah SC07 dengan ICP OES,” Bogor, 2019.
- [2] S. J. Suprpto, “Potensi Prospek Timah Putih dan Pengusaha Timah Putih di Indonesia,” dalam *Kelompok Program Penelitian Konservasi Pusat Submer Daya Geologi*, 2008.
- [3] Kemeprin, “Kementerian Perindustrian Republik Indonesia,” Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 21 February 2023. [Online]. Available: <https://kemenperin.go.id/artikel/23873/Kinerja-Industri-Otomotif-Semakin-Ngebut,-Pasar-Ekspor-Terus-Direbut>. [Diakses 22 May 2023].
- [4] “Statistic Distribution,” 2021. [Online]. Available: <https://www.aisi.or.id/statistic/>. [Diakses 5 November 2021].
- [5] R. Yati, “Pengguna Sepeda Motor di Indonesia Terbanyak ke 3 di Dunia, Ini dampaknya,” 22 September 2021. [Online]. Available: <https://ekonomi.bisnis.com/read/20210922/98/1445254/pengguna-sepeda-motor-indonesia-nomor-3-terbanyak-di-dunia-ini-dampak-negatifnya>. [Diakses 5 November 2021].
- [6] M. Julianti, “Analisis Logam Timah SC07 dengan ICP OES,” Bogor, 2019.
- [7] W. F. Hosford dan R. M. Caddell, *Metal Forming Mechanics and Metallurgy*, United State of America: Cambridge University Press, 2007.
- [8] V. N. Danchenko, *Metal Forming*, Ukraine: National Metallurgy Academy of Ukraine, 2007.
- [9] M. G. Yuzan, “Analisa Perpindahan panas Tabung Barrel pada Mesin Ekstruder Plastik,” Medan, 2021.
- [10] P. Suwandono, W. Wijayanti dan N. Khamidi, “Pengaruh Temperatur Terhadap Entalpi dan Kinetic Rate Gas Pirolisis Kayu Mahoni,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. VI, no. 1, pp. 61-67, 2015.
- [11] E. Muller, *Hydraulic Extrusion Press*, Heidelberg: Springer Berlin, 1961.
- [12] I. Thosun, *Modelling in Transport Phenomena*, Ankara, 2007.
- [13] N. Fuada dan N. Hamid, “Analisis Heat Loss pada Sistem Uap dan Performance Boiler Indomarine di PT Eastern Pearl FLour Mills,” *Jurnal Teknologi*, vol. 21, no. 1, pp. 17-24, 2019.

- [14] V. Verma, R. Nath dan R. Tarodiya , “Heat Transfer Prediction for Radiant Floor Heating/Cooling System Using Artificial Neural Network (ANN),” *Journal Heat Transfer*, vol. 52, no. 4, pp. 3135-3152, 2023.
- [15] R. Wulandari, Z. Furqon dan A. Kusmawati, “Optimasi Ketebalan Isolasi Pada Alat Pemasak (R01101) Di Pabrik XXX Pematang,” *SNTEM*, no. 1, pp. 379-387, 2021.