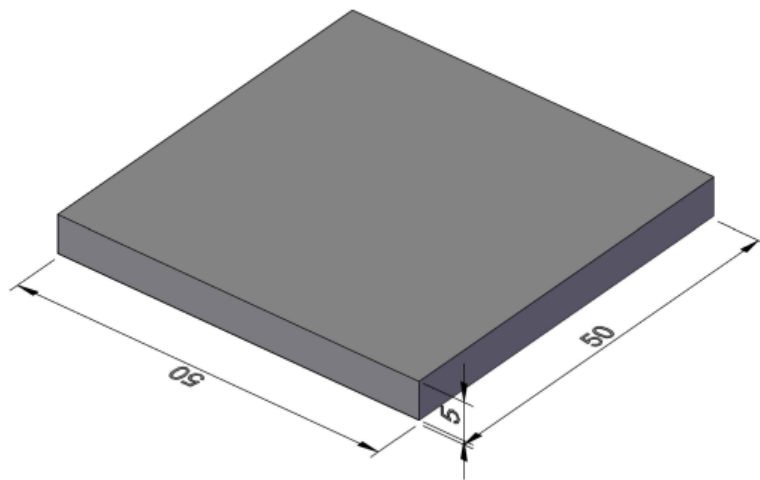


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

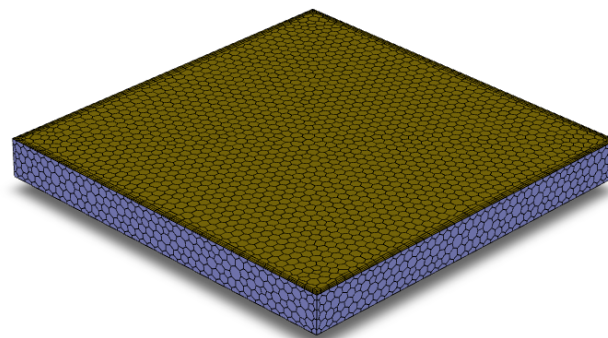
4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* ANSYS *fluent* versi 2024. Sebelum dilakukannya simulasi, model geometri 3D dari substrat dibuat menggunakan AutoCAD. Geometri baja yang dimodelkan memiliki ukuran dengan panjang dan lebar yang sama yaitu 50 mm x 50 mm dan tinggi 5 mm. Baja yang telah dibuat geometri menggunakan AutoCAD, kemudian dikonversi ke dalam format *standart ACIS text* (SAT) dan diimpor ke dalam ANSYS. Model kemudian ditentukan bagian *inlet*, *outlet*, dan *wall* yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Sampel yang akan disimulasikan yaitu menggunakan baja AISI D2. Berikut merupakan gambar spesimen dengan dimensi ukuran yang telah ditentukan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Geometri Baja AISI D2

Geometri baja AISI D2 yang telah didesain kemudian dilanjutkan dengan proses *meshing* yang bertujuan untuk membantu mendapatkan hasil simulasi yang lebih akurat. *Meshing* dalam ANSYS *Fluent* merupakan sebuah tahap yang krusial dalam simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Pada proses *meshing*, geometri dibagi menjadi subdomain kecil yang disebut sel atau element. Sel-sel yang terbentuk pada geometri membentuk *grid* atau *mesh* yang mencakup seluruh area model. Kualitas mesh memiliki dampak yang signifikan terhadap akurasi hasil simulasi.



Ansyes
2024 R2
STUDENT

Gambar 4.2 Hasil *Meshing* Baja AISI D2

Meshing merupakan tahap penting pada proses simulasi seperti *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Proses ini dilakukan sebelum menjalankan proses simulasi yang berfungsi untuk membagi wilayah menjadi bagian kecil yang terpisah-pisah, sehingga mendapatkan hasil yang lebih akurat. Pada Gambar 4.2 dapat dilihat *mesh* terdiri dari 93.921 *node*, 42.437 *edge*, 115.157 *face*, dan 20.252 *cell*, yang menunjukkan tingkat kompleksitas tinggi. Elemen yang digunakan sebagian besar

berbentuk *hexahedral*, dipilih karena dalam elemen *hexahedral* bentuk *mesh* yang halus dan terstruktur sehingga dapat membantu menggambarkan distribusi aliran fluida dengan stabilitas yang baik.

Proses *meshing* ini juga mencakup *boundary layer zone* dengan 23.349 *boundary node*, 8.340 *boundary face*, dan 3 *boundary face zones* untuk menangkap efek viskositas yang signifikan di dekat permukaan dinding. Kepadatan elemen diatur sedemikian rupa untuk meningkatkan resolusi di area permukaan. Analisis konektivitas *boundary* dilakukan untuk memastikan kontinuitas domain dan akurasi simulasi. Dengan konfigurasi ini, model diharapkan mampu menghasilkan prediksi aliran fluida dan perpindahan panas yang akurat. Model yang telah dilakukan proses *meshing* kemudian dimasukkan parameter simulasi seperti area *inlet*, *outlet*, dan *wall*. Berikut merupakan data hasil simulasi yang didapatkan dengan menunjukkan perbedaan tekanan dan temperatur yang digunakan

Tabel 4.1 Data Hasil Simulasi Pengaruh Temperatur Terhadap Kecepatan Aliran dan Densitas

Temperatur					
400 °C		425 °C		450 °C	
Kecepatan	Densitas	Kecepatan	Densitas	Kecepatan	Densitas
Aliran (m/s)	(kg/m ³)	Aliran (m/s)	(kg/m ³)	Aliran (m/s)	(kg/m ³)
19,86	0,774	20,21	0,7341	20,56	0,7239
17,87	0,721	18,19	0,7097	18,51	0,6987
15,89	0,6973	16,16	0,6852	16,45	0,6736
13,9	0,6736	14,14	0,6607	14,39	0,6485

Temperatur					
400 °C		425 °C		450 °C	
Kecepatan	Densitas	Kecepatan	Densitas	Kecepatan	Densitas
Aliran (m/s)	(kg/m ³)	Aliran (m/s)	(kg/m ³)	Aliran (m/s)	(kg/m ³)
11,91	0,6498	12,12	0,6362	12,34	0,6233
9,938	0,6261	10,1	0,6118	10,28	0,5982
7,943	0,6024	9,082	0,5873	8,225	0,573
5,957	0,5787	6,062	0,5628	6,169	0,5479
3,971	0,555	4,041	0,5384	4,113	0,52228
1,985	0,5313	2,021	0,5139	2,056	0,4976
0	0,5076	0	0,4894	0	0,4725

Tabel 4.2 Data Hasil Simulasi Pengaruh Tekanan Terhadap

Kecepatan Aliran dan Densitas

Tekanan					
1,5 mbar		1,75 mbar		2,0 mbar	
Kecepatan	Densitas	Kecepatan	Densitas	Kecepatan	Densitas
Aliran (m/s)	(kg/m ³)	Aliran (m/s)	(kg/m ³)	Aliran (m/s)	(kg/m ³)
14,54	0,7934	17,79	0,7551	20,56	0,7239
13,08	0,7713	16,01	0,7268	18,51	0,6987
11,63	0,7292	14,23	0,6985	16,45	0,6736
10,18	0,6971	12,45	0,6703	14,39	0,6485
8,723	0,665	10,67	0,642	12,34	0,6233

7,269	0,6329	8,896	0,6138	10,28	0,5982
5,815	0,6008	7,117	0,5855	8,225	0,573
4,361	0,5687	5,337	0,5573	6,169	0,5479
2,908	0,5366	3,558	0,529	4,113	0,5228
1,454	0,5045	1,779	0,5007	2,056	0,4976
0	0,5076	0	0,4894	0	0,4725

Tabel 4.3 Data Hasil Simulasi Pengaruh Tekanan Terhadap Temperatur

Tekanan		
1,5 mbar	1,75 mbar	2,0 mbar
Temperatur (°C)	Temperatur (°C)	Temperatur (°C)
450,04	450,04	450,04
418,8	415,26	415,23
387,55	380,48	380,41
356,3	345,71	345,59
325,06	310,93	310,77
293,81	275,15	275,96
262,57	241,15	241,14
231,32	206,37	206,32
200,07	171,81	171,51
168,83	136,03	136,69
137,58	102,25	101,89

Tabel 4.4 Data Hasil Simulasi Profil Temperatur

Tebal Sampel (mm)	Tekanan		
	1,5 mbar	1,75 mbar	2,0 mbar
5	400,04	400,04	400,04
4,5	372,1	382,32	393,03
4	334,15	344,61	366,01
3,5	306,2	316,89	348,99
3	268,28	289,17	301,97
2,5	263,31	271,45	284,96
2	230,37	249,74	267,94
1,5	200,42	206,02	210,92
1	166,47	178,3	193,91
0,5	152,53	160,58	176,89
0	120,58	122,86	120,87

4.2 Pengaruh Temperatur terhadap Distribusi Gas

Simulasi pada model geometri 3D dari baja AISI D2 ini akan diberikan beberapa data parameter tetap serta variabel terikat. Pada hasil simulasi bagian pertama ini menganalisis penggunaan dua nilai temperatur selama proses plasma nitridasi berlangsung dengan menggunakan temperatur 400 °C, 425 °C, dan 450 °C dengan menggunakan jenis gas yang sama yaitu gas nitrogen. Masing-masing temperatur akan diinjeksikan pada baja dengan kecepatan 15 m/s dan tekanan gas yang diberikan pada permukaan baja sebesar 2,0 mbar (200 Pa). Simulasi

dilakukan dengan mengaktifkan *energy equation* untuk memungkinkan mengatur parameter terkait energi atau perpindahan panas pada model. Pada proses simulasi dengan kedua variabel temperatur menggunakan metode *hybrid initialization* yaitu metode inisialisasi komputasi untuk mengetahui hasil variabel seperti tekanan, temperatur, dan kecepatan dengan persamaan yang telah ditentukan.

Simulasi dijalankan dengan iterasi maksimal sebanyak 200 kali. Dengan iterasi tersebut, persamaan yang sama akan dilakukan pada nilai batas yang berbeda sebanyak maksimal 200 kali sehingga akan memberikan hasil berupa solusi penyelesaian yang lebih baik. Proses *hybrid initialization* sering kali mengalami kendala dalam mencapai kondisi konvergen. Ketidakmampuan ini terjadi ketika terdapat perubahan signifikan terhadap berbagai variabel selama *solver* menjalankan banyak iterasi dalam mencari solusi. Salah satu faktor yang mempengaruhi sulitnya mencapai konvergensi yaitu kualitas proses *meshing*. Oleh karena itu, dalam simulasi ini diterapkan teknik *adaptive meshing* terlebih dahulu yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas elemen *mesh* dan memastikan hasil yang optimal.

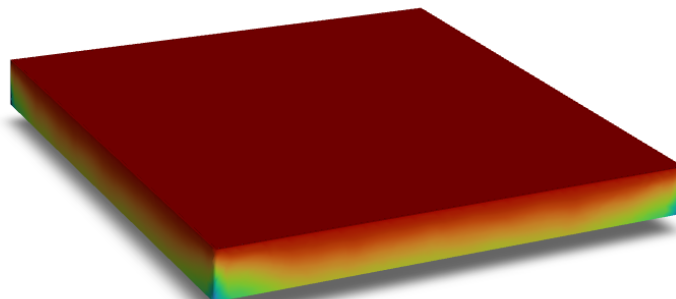
(a)

Ansys
2024 R2
STUDENT

Total Temperature
[C]

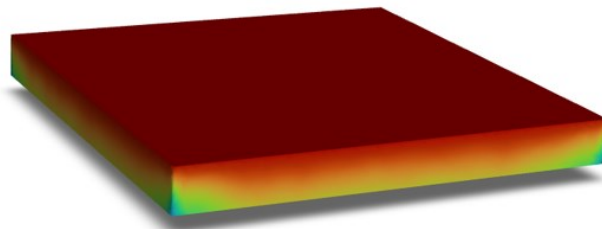
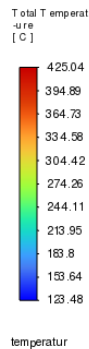
400.04
373.03
346.01
318.99
291.97
264.96
237.94
210.92
183.91
156.89
129.87

temperatur



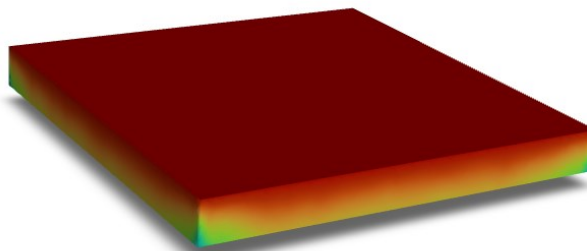
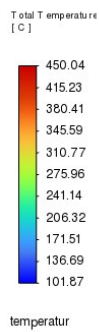
(b)

Ansys
2024 R2
STUDENT



(c)

Ansys
2024 R2
STUDENT



Gambar 4.3 Hasil Distribusi Temperatur Pada Temperatur (a) 400 °C,
(b) 425 °C dan (c) 450 °C

Hasil Simulasi pertama dengan temperatur pemanasan 400 °C, 425 °C dan 450 °C ditunjukkan pada Gambar 4.3 Berdasarkan ilustrasi tersebut, dapat dilihat bahwa distribusi temperatur pada kedua variabel temperatur yang digunakan terlihat sama, tetapi berbeda jika melihat keterangan warna yang disajikan. Terjadinya perubahan warna pada setiap titik di dalam sampel disebabkan oleh

konduktivitas termal ion pada bagian sampel bergantung pada ion yang terkonsentrasi. Ion yang terkonsentrasi pada suatu area akan mudah temperaturnya untuk naik sehingga warna pada setiap titik di bagian baja berbeda-beda.

Pada temperatur 400 °C distribusi temperatur terlihat merata dengan nilai maksimum sebesar 400,04 °C. Temperatur tersebut berada pada permukaan material, sementara area tepi menunjukkan penurunan hingga 129,87 °C. Perubahan gradien warna ini menunjukkan bahwa energi termal yang rendah menghambat pergerakan partikel ion nitrogen ke dalam material, mengurangi efektifitas difusi nitrogen pada area dengan temperatur yang lebih rendah.

Pada temperatur 425 °C distribusi temperatur mendapatkan hasil dengan nilai maksimum yaitu 425,04 °C yang berada pada permukaan sampel. Temperatur terus menurun seiring dengan ketebalan sampel yaitu menunjukkan nilai penurunan hingga 123,48 °C. Perubahan tersebut menunjukkan hasil yang tidak terlalu signifikan berdasarkan nilai penurunan temperatur seperti pada temperatur 400 °C.

Pada temperatur 450 °C distribusi temperatur lebih luas dan merata dengan nilai maksimum sebesar 450,04 °C. Pada kondisi ini, perbedaan temperatur di antara permukaan dan area tepi material menjadi lebih signifikan dengan ditunjukan oleh nilai minimum yang lebih rendah yaitu 101,87 °C . Peningkatan temperatur ini memperkuat proses *thermal diffusion*, di mana pada ion nitrogen meningkat seiring bertambahnya temperatur. Energi kinetik yang lebih tinggi pada temperatur ini memperkuat proses difusi, ion nitrogen dapat bergerak lebih cepat dan membuat temperatur lebih merata pada material. Proses ini sesuai dengan hukum *fourier*

yaitu peningkatan gradien temperatur mempercepat laju aliran panas yang mendukung pergerakan partikel gas.

4.3 Pengaruh Temperatur terhadap Laju Alir Gas

Perbedaan penggunaan temperatur pada permukaan sampel ini tidak hanya mempengaruhi pada peningkatan atau penurunan temperatur sampel, tetapi juga mempengaruhi berbagai aspek lain yang terjadi selama proses berlangsung. Salah satu aspek yang mengalami perubahan adalah gas yang diinjeksikan ke dalam reaktor. Gas yang diinjeksikan akan mengalami perubahan laju alir selama difusi berlangsung karena adanya perubahan temperatur pada gas. Hal ini berlaku prinsip persamaan Bernoulli yang merupakan konsep utama dalam dinamika fluida yang menghubungkan tekanan, kecepatan, dan ketinggian. Prinsip ini menyatakan bahwa peningkatan kecepatan fluida akan diikuti dengan penurunan tekanan atau energi potensial. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan kekekalan energi ketika kecepatan fluida meningkat, sebagian energi tekanan akan dikonversi menjadi energi kinetik untuk mempertahankan keseimbangan energi total. Prinsip Bernoulli dalam simulasi ini berjalan beriringan dengan persamaan kontinuitas yang dituliskan sebagai persamaan berikut.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho(v_1)^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho(v_2)^2 + \rho gh_2 \dots\dots\dots(1)$$

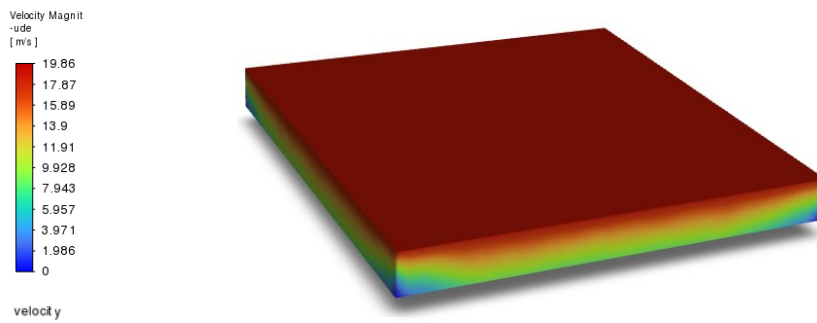
$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \dots\dots\dots(2)$$

Di mana P adalah tekanan gas, ρ adalah densitas fluida, v adalah kecepatan alir gas, g adalah nilai percepatan gravitasi, h_1 adalah ketinggian pada titik pertama,

h_2 adalah ketinggian pada titik kedua, A_1 adalah lebar atau diameter pada titik pertama, dan A_2 lebar atau diameter pada titik kedua.

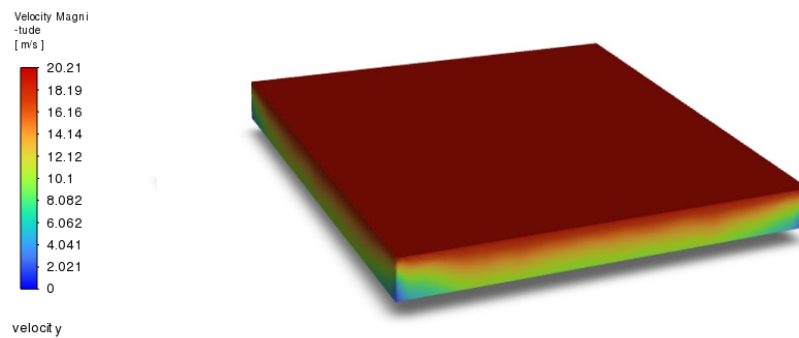
(a)

Ansys
2024 R2
STUDENT



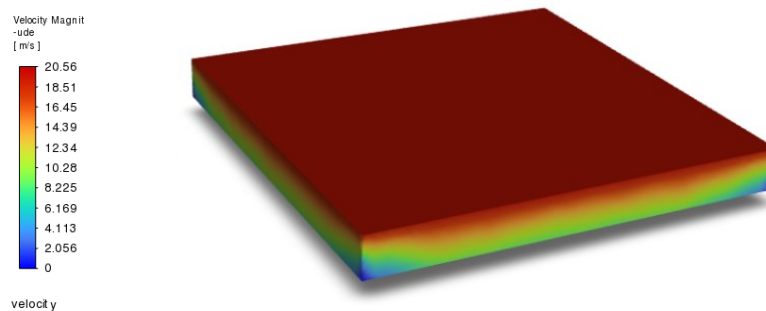
(b)

Ansys
2024 R2
STUDENT



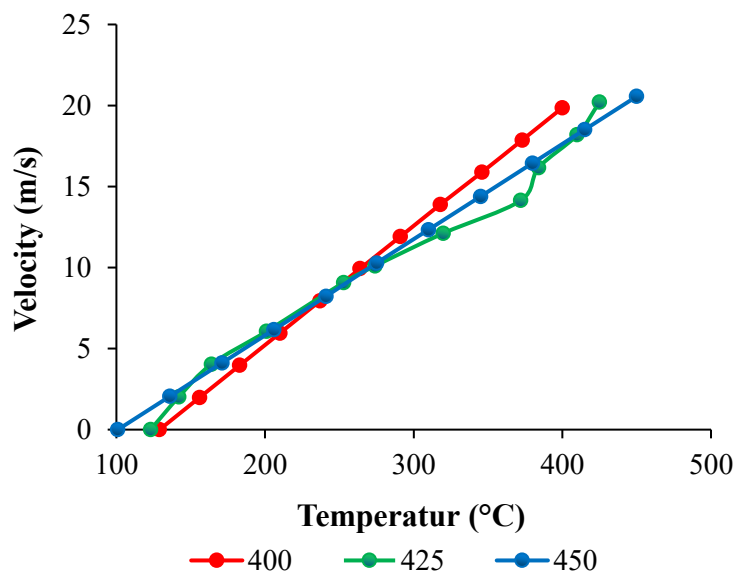
(c)

Ansys
2024 R2
STUDENT



Gambar 4.4 Kontur Kecepatan Alir Gas Nitrogen Pada Temperatur (a) 400 °C, (b) 425 °C dan (c) 450 °C

Pada Gambar 4.4 dengan menggunakan temperatur 400 °C menunjukkan nilai kecepatan aliran gas maksimum sebesar 19,86 m/s, lalu dengan menggunakan temperatur 425 °C mendapatkan nilai kecepatan maksimum sebesar 20,21 m/s, lalu dengan menggunakan temperatur 450 °C menunjukkan nilai kecepatan maksimum sebesar 20,58 m/s. Distribusi kecepatan ini ditandai dengan variasi kontur warna yang berbeda menggambarkan tingginya nilai kecepatan di area tertentu. Kondisi naiknya kecepatan laju alir pada saluran masuk gas berlaku karena gas yang terdistribusi langsung menuju permukaan baja. Hal tersebut dapat dilihat ketika temperatur semakin tinggi, laju alir gas akan semakin tinggi dan secara perlahan akan mulai menurun hingga permukaan sampel. Hal tersebut sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa peningkatan laju alir dapat tercapai pada temperatur gas yang lebih tinggi [38]. Berikut merupakan perbandingan datanya dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Kurva Kecepatan Alir Gas Nitrogen Pada Temperatur 400 °C, 425 °C, dan 450 °C

4.4 Pengaruh Temperatur terhadap Densitas Gas

Berdasarkan hasil simulasi CFD pada proses *plasma nitriding* dengan menggunakan temperatur 400 °C, 425 °C dan 450 °C dapat dilihat pengaruh temperatur dapat menyebabkan perubahan densitas gas. Pemanasan gas nitrogen pada simulasi ini menyebabkan molekul gas melaju lebih cepat dan menyebar hingga menempati volume yang lebih besar sehingga mengakibatkan penurunan densitas.

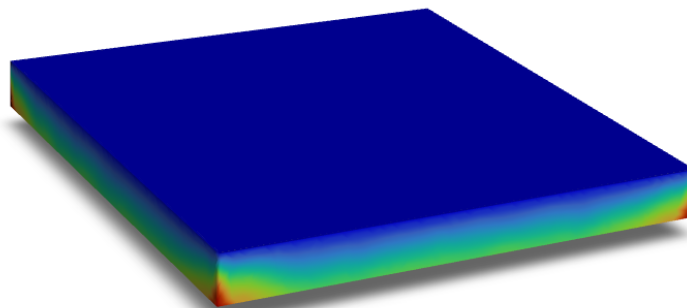
(a)

Ansys
2024 R2
STUDENT

Density
[kg/m³]

0.7447
0.721
0.6973
0.6736
0.6498
0.6261
0.6024
0.5787
0.555
0.5313
0.5076

density



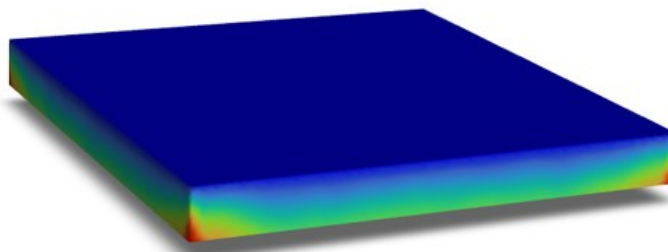
(b)

Ansys
2024 R2
STUDENT

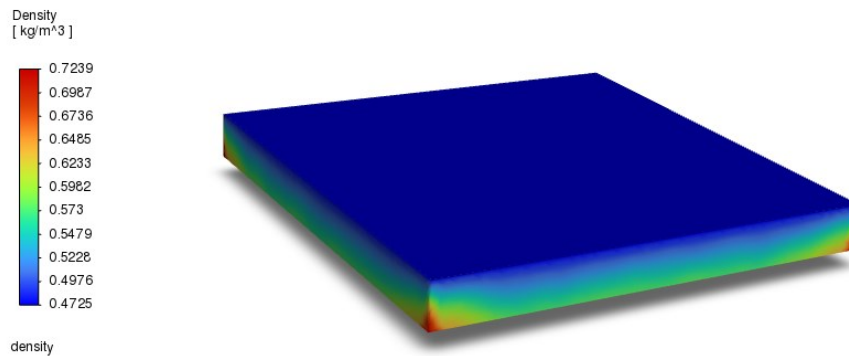
Density
[kg/m³]

0.7341
0.7097
0.6852
0.6607
0.6362
0.6118
0.5873
0.5628
0.5384
0.5139
0.4894

density



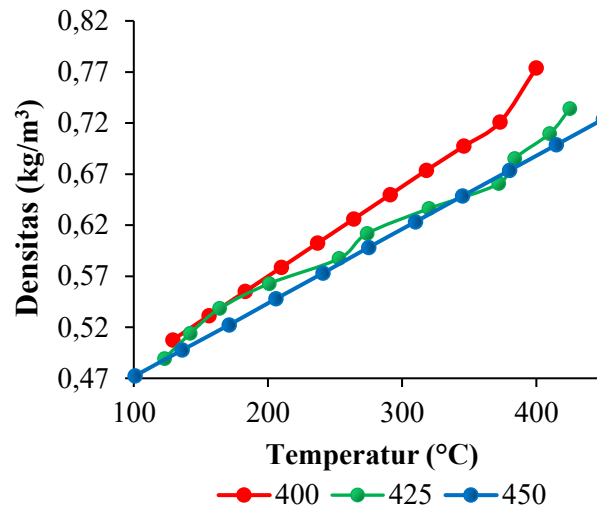
(c)



Gambar 4.6 Kontur Perubahan Densitas Gas Nitrogen Pada Temperatur (a) 400 °C, (b) 425 °C dan (c) 450 °C

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat dengan menggunakan temperatur 400 °C distribusi densitas gas nitrogen menunjukkan hasil yang cukup signifikan, di mana nilai densitas berkisar antara 0,7447 kg/m³ hingga 0,5076 kg/m³. Pada simulasi dengan menggunakan temperatur 425 °C menunjukkan distribusi densitas gas nitrogen sebesar 0,7341 kg/m³ hingga 0,4894 kg/m³. Fenomena tersebut dapat terjadi karena temperatur lebih rendah, energi kinetik molekul gas nitrogen masih relatif kecil sehingga jarak antar molekul lebih padat. Pada temperatur 450 °C nilai densitas gas nitrogen mengalami penurunan yang lebih signifikan dengan distribusi yang lebih homogen. Nilai densitas pada temperatur ini berkisar 0,7239 kg/m³ hingga 0,4725 kg/m³. Faktor perbedaan temperatur mengakibatkan densitas gas pada simulasi dengan temperatur 450 °C menunjukkan penurunan densitas gas yang lebih signifikan dibandingkan dengan penggunaan temperatur 400 °C dan 425 °C.

Berikut merupakan perbandingan data dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Kurva Perubahan Densitas Gas Nitrogen Pada Temperatur 400 °C, 425 °C, dan 450 °C

4.5 Pengaruh Tekanan Gas terhadap Distribusi Temperatur

Penggunaan tekanan yang berbeda pada model simulasi juga dianalisis pada penelitian ini, di mana hasil menunjukkan perbedaan pada variabel yang diamati. Simulasi pengaruh tekanan yang dilakukan dengan menggunakan 1,5 mbar (150 Pa), 1,75 mbar (175 Pa) dan 2,0 mbar (200 Pa) dengan menggunakan jenis gas yang sama yaitu gas nitrogen. Masing-masing tekanan akan diinjeksikan pada baja dengan kecepatan 15 m/s dan temperatur gas yang diberikan pada permukaan baja sebesar 450 °C.

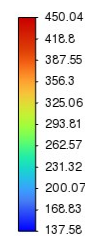
Tekanan yang berbeda yang diaplikasikan pada ANSYS *Fluent* berperan untuk mengetahui efisiensi aliran gas dengan tekanan yang berbeda-beda. Penggunaan variasi tekanan diatur terlebih dahulu pada bagian *setup*. Dipilih tekanan yang akan digunakan oleh masing-masing temperatur yaitu 1,5 mbar (150 Pa), 1,75 mbar (175

Pa) dan 2,0 mbar (200 Pa). Densitas masing-masing gas tidak diatur berdasarkan model gas ideal, melainkan berdasarkan kondisi gas yang sebenarnya (*real gas*). Penggunaan gas *ideal* dianggap kurang sesuai untuk simulasi ini karena simulasi tersebut beroperasi dalam kondisi yang ideal dan tidak menggambarkan keadaan gas yang sesungguhnya. Model ini mengikuti persamaan Redlich-Kwong yang serupa dengan yang digunakan dalam simulasi sebelumnya untuk memberikan hasil yang lebih akurat dan realistis dalam simulasi proses yang sedang dianalisis. Berikut merupakan hasil simulasi hasil distribusi temperatur dengan parameter tekanan 1,5 mbar, 1,75 mbar dan 2,0 mbar.

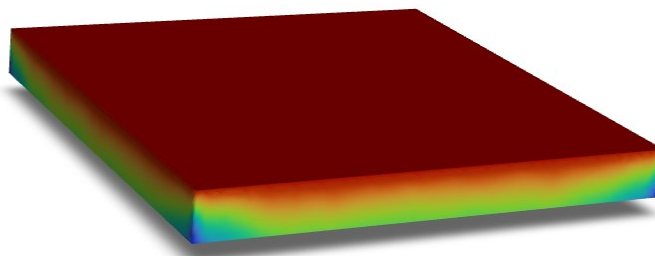
(a)

Ansys
2024 R2
STUDENT

Total Temperature
[C]



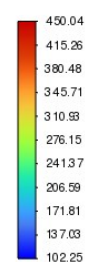
temperatur



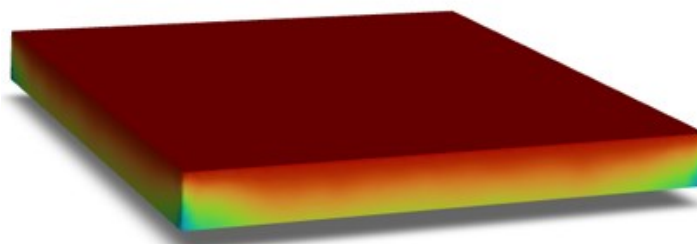
(b)

Ansys
2024 R2
STUDENT

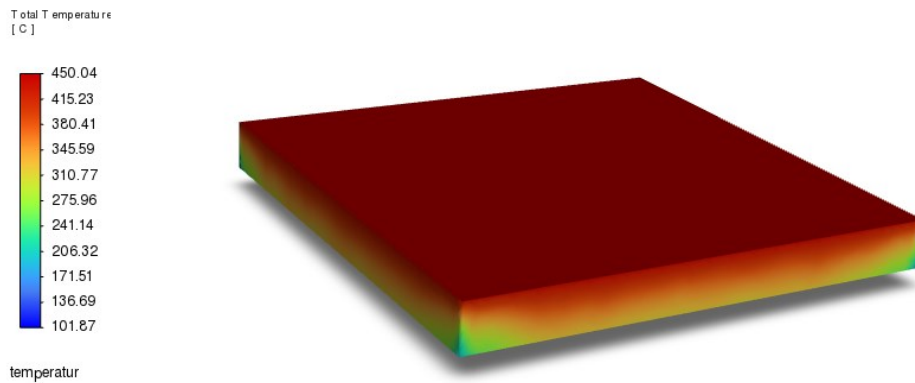
Total Temperature
[C]



temperatur



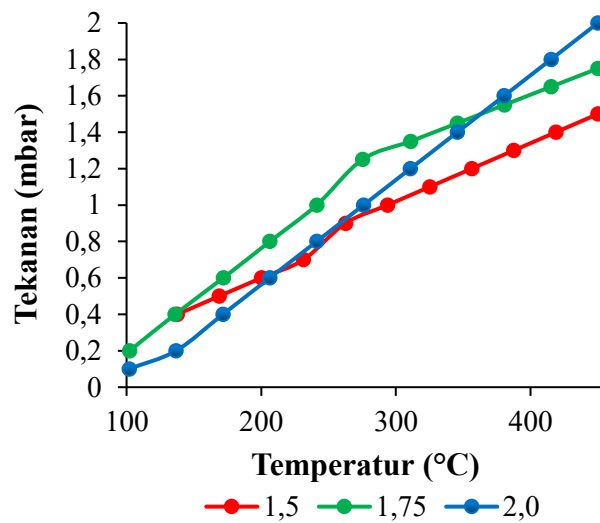
(c)



Gambar 4.8 Hasil Distribusi Temperatur dengan Parameter Tekanan (a) 1,5 mbar, (b) 1,75 mbar (c), dan 2,0 mbar

Pada distribusi temperatur yang dapat dilihat di Gambar 4.8 dapat dilihat rentang temperatur yang dihasilkan dari masing-masing tekanan memiliki hasil yang berbeda-beda. Pada tekanan 1,5 mbar distribusi temperatur memiliki rentang nilai antara 450,04 °C hingga 137,58 °C. Kontur warna pada permukaan menunjukkan warna merah yang mengindikasikan temperatur maksimum 450 °C, sementara sisi permukaan samping hingga bawah sampel mengalami penurunan yang signifikan dengan gradasi dari warna hijau hingga biru yang menunjukkan penurunan drastis menuju nilai terendah. Pada tekanan 1,75 mbar mendapatkan distribusi temperatur nilai antara 450,04 °C hingga 102,25 °C. Sedangkan pada simulasi dengan tekanan 2,0 mbar menghasilkan distribusi temperatur 450,04 °C hingga 101,87 °C. Kontur warna pada tekanan 1,75 mbar dan 2,0 mbar tidak terlalu

berbeda dengan menggunakan tekanan 1,5 mbar. Dominasi warna merah pada permukaan sampel dan hingga dinding sampel menandakan tekanan yang didapatkan lebih merata dibandingkan dengan menggunakan tekanan 1,5 mbar. Berikut merupakan perbandingan datanya dapat dilihat pada Gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4.9 Kurva Distribusi Temperatur dengan Parameter Tekanan 1,5 mbar, 1,75 mbar, dan 2,0 mbar

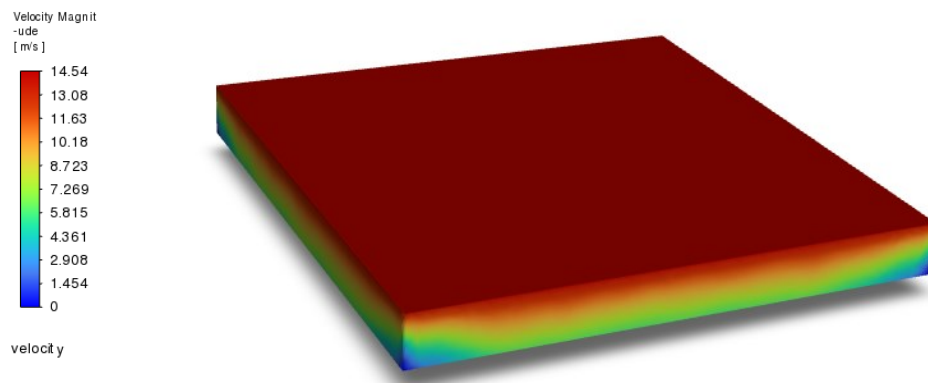
Perbedaan temperatur akhir pada sampel dapat dipengaruhi oleh tekanan yang diberikan pada masing-masing sampel. Dari ketiga tekanan yang digunakan pada sampel, tekanan 2,0 mbar menunjukkan nilai temperatur yang turun secara signifikan dan panas yang merata. Hal tersebut dapat terjadi karena densitas plasma yang meningkat dengan lebih banyak partikel gas dalam satuan volume. Dengan tekanan yang lebih besar, energi panas lebih cepat menyebar ke daerah sekitar sampel [39].

4.6 Pengaruh Tekanan Gas terhadap Laju Alir Gas

Laju aliran gas dalam proses plasma nitridasi merupakan parameter penting yang mempengaruhi distribusi partikel pada ruang plasma serta mengetahui panas pada sampel. Salah satu faktor yang mempengaruhi aliran gas yaitu tekanan yang diatur pada permukaan sampel. Variasi tekanan gas akan mengubah sifat aliran dan distribusi kecepatan.

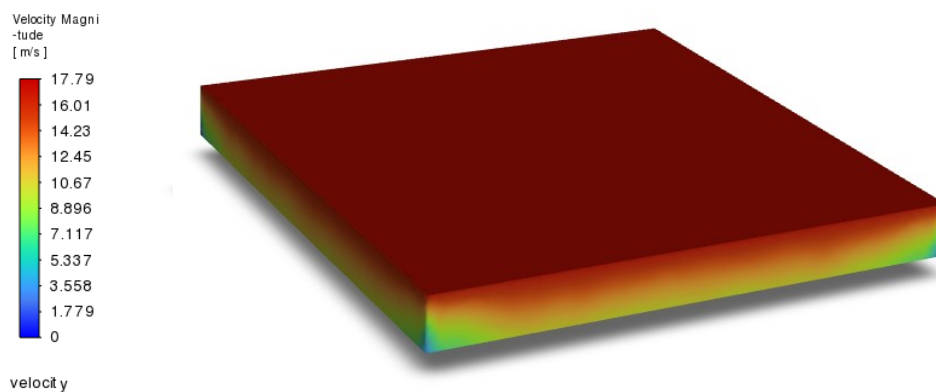
(a)

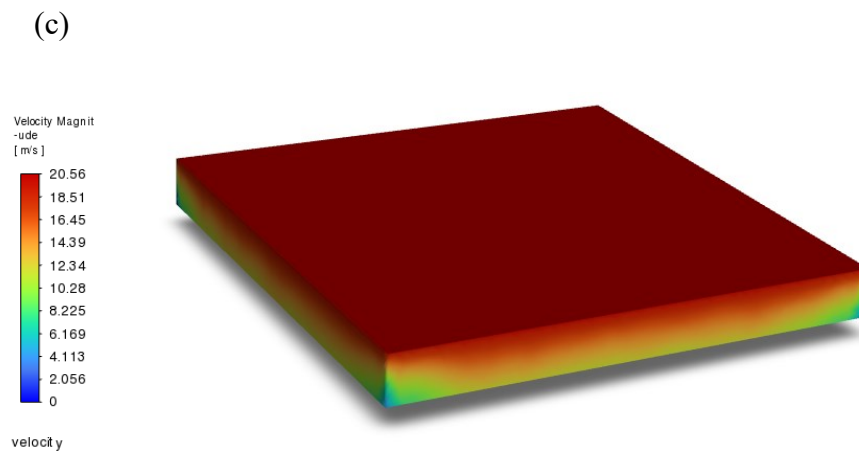
Ansys
2024 R2
STUDENT



(b)

Ansys
2024 R2
STUDENT

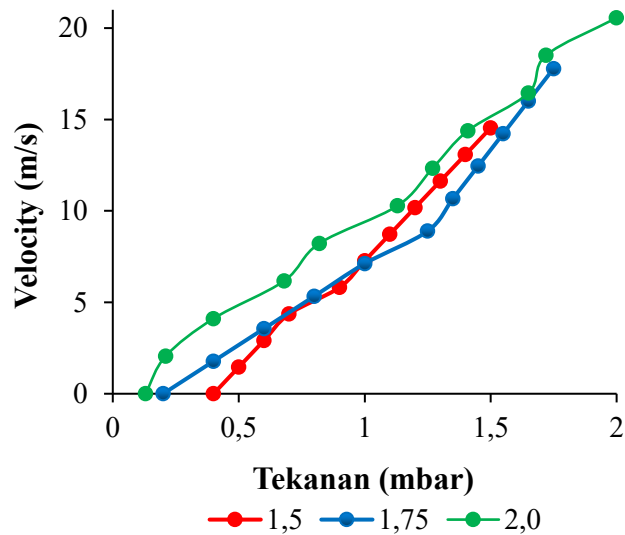




Gambar 4.10 Kontur Laju Aliran Gas dengan Parameter Tekanan (a) 1,5 mbar, (b) 1,75 mbar (c), dan 2,0 mbar

Pada tekanan 1,5 mbar kecepatan aliran gas cenderung rendah dengan dominasi kontur warna merah tua yang menunjukkan nilai kecepatan 14,54 m/s hingga 0 m/s. Lalu kecepatan gas seiring meningkat dengan naiknya tekanan yang diberikan yaitu menggunakan tekanan 1,75 mbar mendapatkan nilai kecepatan sebesar 17,79 m/s hingga 0 m/s. Tekanan rendah dapat menyebabkan momentum partikel gas dalam reaktor berkurang sehingga mencapai kecepatan aliran gas yang lebih rendah. Pada tekanan 2,0 mbar kecepatan aliran gas menunjukkan peningkatan yang signifikan dapat terlihat dari dominasi kontur yang berwarna merah hingga oranye dan menghasilkan kecepatan aliran gas berkisar 20,56 m/s hingga 0 m/s. Peningkatan tekanan menghasilkan partikel gas yang lebih besar. Hal tersebut sesuai dengan persamaan Bernoulli yang menjelaskan tentang hubungan

antara tekanan, densitas, dan kecepatan aliran gas. Berikut merupakan perbandingan datanya dapat dilihat pada Gambar 4.11 sebagai berikut.



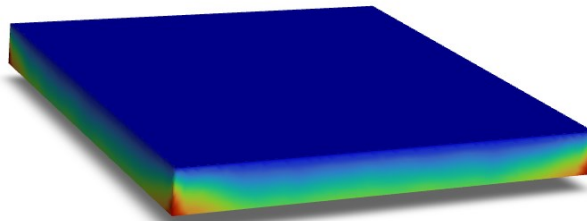
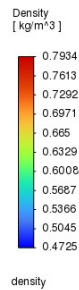
Gambar 4.11 Kurva Laju Aliran Gas dengan Parameter Tekanan 1,5 mbar, 1,75 mbar dan 2,0 mbar

4.7 Pengaruh Tekanan Gas terhadap Densitas Gas

Pada dasarnya, perbandingan nilai densitas tidak dapat menjadi perbandingan secara langsung karena perbedaan gas yang digunakan akan mempengaruhi densitas yang terjadi. Tetapi, densitas gas menjadi faktor dalam menentukan distribusi energi dan transfer massa dalam proses plasma nitridasi. Berikut merupakan perbandingan tekanan gas yang digunakan terhadap densitas yang dihasilkan.

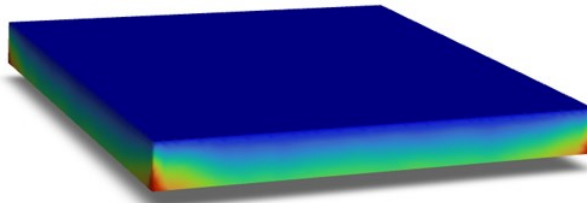
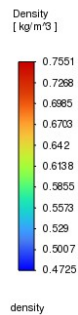
(a)

Ansys
2024 R2
STUDENT



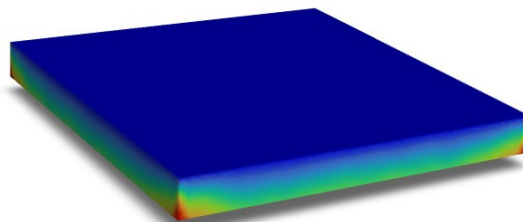
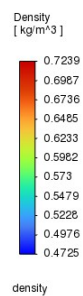
(b)

Ansys
2024 R2
STUDENT



(c)

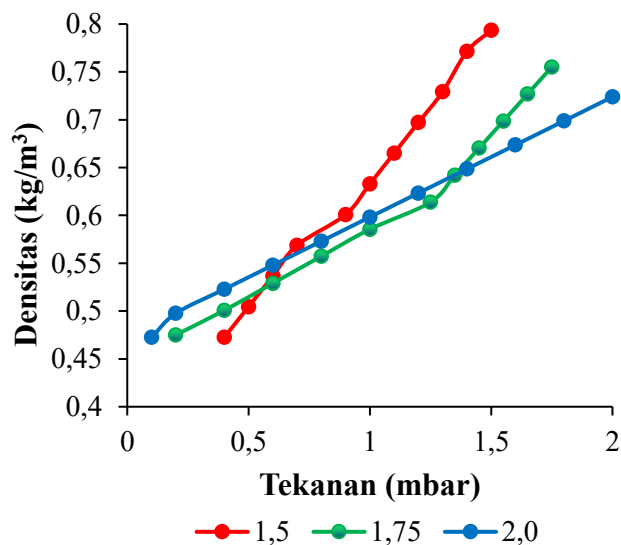
Ansys
2024 R2
STUDENT



Gambar 4.12 Kontur Densitas Gas dengan Parameter Tekanan (a) 1,5 mbar, (b) 1,75 mbar, dan (c) 2,0 mbar

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat dengan menggunakan tekanan 1,5 mbar sampel mendapatkan densitas yang relatif lebih tinggi sekitar 0,7934 kg/m³ hingga

0,4725 kg/m³. Kemudian dengan menggunakan tekanan 1,75 mbar sampel mendapatkan densitas 0,7551 kg/m³ hingga 0,4725 kg/m³. Sedangkan dengan menggunakan tekanan 2,0 mbar sampel mendapatkan densitas yang lebih rendah yaitu 0,7239 kg/m³ hingga 0,4725 kg/m³. Dengan mendapatkan nilai tersebut, tekanan yang tinggi dapat mengakibatkan jarak antar partikel gas menjadi lebih padat yang mengakibatkan partikel gas bertabrakan satu sama lain. Perbedaan densitas gas ini menunjukkan bahwa tekanan memiliki peran dalam mengontrol karakteristik plasma selama proses nitridasi. Berikut merupakan perbandingan datanya dapat dilihat pada Gambar 4.13 sebagai berikut.

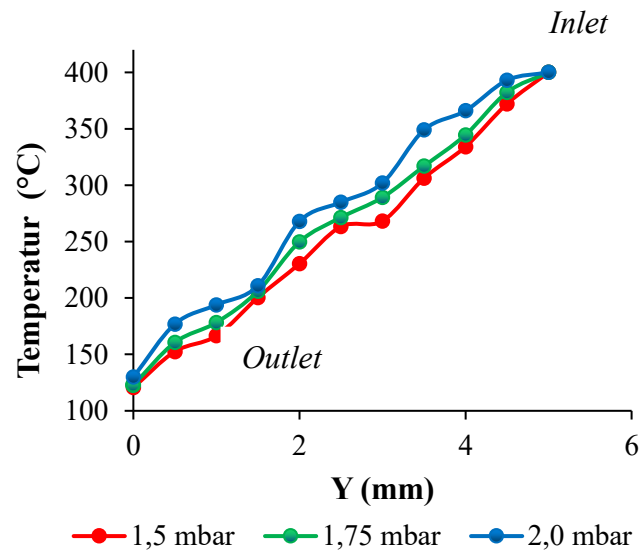


Gambar 4.13 Kurva Densitas Gas dengan Parameter Tekanan 1,5 mbar, 1,75 mbar dan 2,0 mbar

4.8 Profil Temperatur Hubungan Temperatur dengan Tekanan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijalankan, terdapat perubahan seperti temperatur, laju alir, dan tekanan. Perubahan temperatur yang terjadi menunjukkan

salah satu faktor yang mempengaruhi yang mempengaruhi laju reaksi, dengan temperatur yang tinggi akan mempercepat proses terjadinya reaksi.



Gambar 4.14 Profil Temperatur Sepanjang *inlet* ke *outlet*

Pada Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa temperatur sepanjang *inlet* ke *outlet* sampel pada variasi tekanan 1,5 mbar, 1,75 mbar, dan 2,0 mbar serta menggunakan temperatur yang sama yaitu 400 °C dengan ketebalan sampel yaitu 5 mm. Dengan menggunakan tekanan 1,5 mbar temperatur yang ditunjukkan pada permukaan baja yaitu 400,04 °C pada *inlet* dan menurun hingga 120,58 °C pada *outlet*. Dengan menggunakan tekanan 1,75 mbar temperatur yang dihasilkan pada permukaan baja yaitu 400,04 °C pada *inlet* dan menurun hingga 122,86 °C pada *outlet*. Pada tekanan 2,0 mbar temperatur yang dihasilkan mencapai 400,04 °C pada *inlet* dan menurun hingga 129,87 °C pada *outlet*. Tekanan gas yang disimulasikan tersebut juga berpengaruh terhadap temperatur sepanjang *inlet* menuju *outlet*. Pada hasil yang didapatkan dengan tekanan yang lebih tinggi menghasilkan penurunan temperatur yang signifikan dibandingkan tekanan yang lebih rendah. Hal tersebut dapat terjadi

karena dengan tekanan yang lebih tinggi kecepatan molekul gas yang meningkat. Dengan banyaknya molekul gas yang meningkat kecepatannya dapat menyebabkan konduktivitas termal gas ikut meningkat yang mengakibatkan transfer panas menjadi lebih efisien.