

## SIMULASI DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN KELEMBABAN RELATIF PADA RUANG STEAMER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

\*Tommy Ivantoro<sup>1</sup>, Eflita Yohana<sup>2</sup>, M. S. K. Tony Suryo Utomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [tommy.ivantoro@yahoo.com](mailto:tommy.ivantoro@yahoo.com)

### Abstrak

Pada umumnya, pabrik teh di Indonesia masih menggunakan metode *Panning*, yaitu pelayuan daun teh menggunakan silinder panas berputar. Panas dihasilkan dari pembakaran kayu yang menghasilkan asap yang bersifat karsinogenik. *Steamer* digunakan sebagai pengganti *panning*, uap berasal dari Boiler bertekanan 2 bar disalurkan melalui *nozzle* yang berada di dalam *steamer*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi temperatur dan fraksi massa uap dalam *steamer* yang berpengaruh terhadap kualitas teh yang dihasilkan dengan kecepatan uap 43,22 m/s. Maka dari itu digunakan model matematik *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Metode validasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu, membandingkan grafik kecepatan, temperatur, dan fraksi massa uap dari jurnal milik Ladislav Vyskocil dengan menggunakan metode turbulen *k-epsilon realizable enhanced wall treatment, mixture, dan species transport*. Hasil validasi tersebut didapatkan *error* maksimum pada grafik kecepatan 17,86% temperatur 6,43%, dan fraksi massa uap 16,67%. Karena *error* <20% maka metode tersebut dapat digunakan. Dari kontur yang diperoleh pada proses simulasi *steamer* berbentuk 3D dapat disimpulkan bahwa persebaran distribusi temperatur tidak begitu berbeda. Namun berbeda pada fraksi massa uap. Konsentrasi uap yang mula-mula sebesar 0,95 turun hingga konsentrasinya 0. Secara keseluruhan pengkondisian ruang dengan kecepatan masuk 43,22 m/s dapat melayukan daun teh untuk dilakukan proses pada tahap berikutnya.

**Kata kunci:** CFD, fraksi massa, kecepatan, *steamer*, temperatur

### Abstract

Generally, the tea factory in Indonesia is still using *Panning* methods that is withering the tea leaves by passing on rotary cylinder. Heat generated from the burning logs that are carcinogens. Modification by using the *Steamer* instead, which uses the steam coming from the boiler pressure 2 bar through every *nozzle* in *steamer*. The aim of this study was to determine the distribution of velocity, temperature and mass fraction of steam in a *steamer* which affect the quality of tea produced by the speed of 43.22 m/s. Thus the mathematical models used *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Validation method used in this final project, namely, comparing the graphics speed, temperature, and mass fraction of steam in a journal belonging to Ladislav Vyskocil using the *k-epsilon turbulence realizable enhanced wall treatment, mixture, and species transport*. The validation results obtained maximum error at speed 17.86%, temperature 6.43%, and 16.67% vapor mass fraction. Because the error <20%, then the method can be used. From the contour temperature distribution obtained in the simulation process on the 3D shaped *steamer* can be concluded that the spread of temperature is not too different distribution. But differ in mass fraction of steam. The early steam concentration of 0.95 down to concentration of 0. As a whole conditioning space with a speed of 43.22 m/s can withering the tea leaves for the next stage process.

**Keywords:** CFD, mass fraction, velocity, *steamer*, temperature

## 1. Pendahuluan

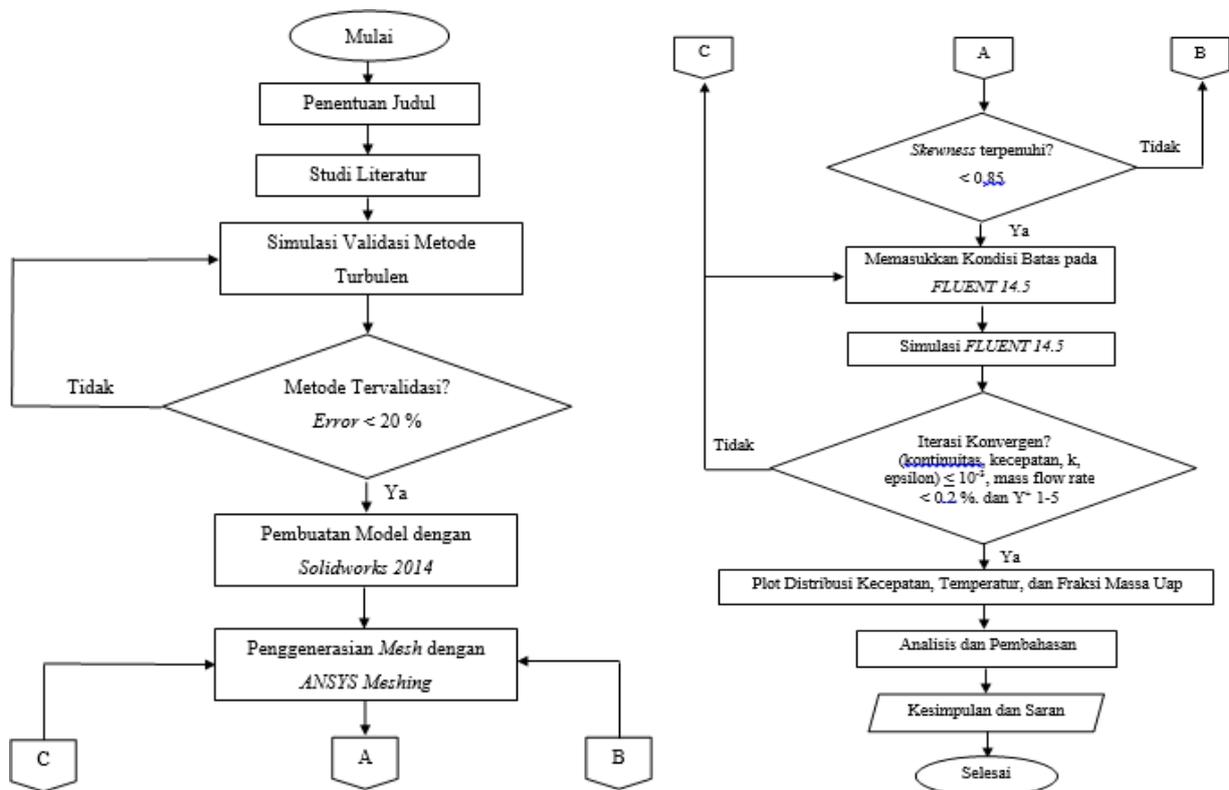
Perkembangan usaha teh di Indonesia berada pada wilayah Sumatera Utara sampai ke Jawa Timur, namun perkebunan teh di Indonesia dewasa ini berada dalam kondisi menurun (*decline*). Perkembangan areal tanaman teh di Indonesia menurun sejak tahun 2002, sehingga pada tahun 2009 hanya tersisa 126.251 Ha. Untuk agroindustri teh di Indonesia pernah tercatat sebagai penghasil devisa negara yang terbesar dalam perekonomian nasional. Akan tetapi, sejalan dengan merosotnya luas areal tanaman, produksi teh Indonesia juga terus mengalami penurunan. Jika pada tahun 2008 masih sebesar 137.499 ton, pada tahun 2010 hanya 129.200 ton. Menurunnya agroindustri teh Indonesia dewasa ini terjadi karena belum dapat diatasinya masalah-masalah yang dihadapi oleh teh Indonesia, seperti: rendahnya produktivitas tanaman karena dominannya tanaman teh rakyat yang belum menggunakan benih unggul, terbatasnya penguasaan teknologi pengolahan produk dan belum mampunya petani mengikuti teknologi anjuran sebagaimana

direkomendasikan (Good Agriculture Practice/GAP; Good Manufacture Process/GMP) serta standar kualitas produk sebagaimana disyaratkan oleh ISO[1]. Untuk mencapai kondisi standar produk yang diinginkan, salah satu caranya adalah meningkatkan kualitas dari teh yang diproduksi. Umumnya pabrik teh di Indonesia masih menggunakan metode *Panning*, yaitu pelayuan daun teh dengan melewatkannya pada silinder panas yang dihasilkan dari pembakaran batang kayu. Polusi pembakaran dari batang kayu tersebut mengandung zat karsinogen yang berbahaya bagi kesehatan pekerja dan tentunya dapat menurunkan kualitas dari daun teh yang diproduksi. Maka dari itu proses yang harus diperhatikan adalah pelayuan daun teh. Dimana pada penelitian ini pelayuan daun teh menggunakan uap yang berasal dari *Boiler* bertekanan 2 bar. Kemudian uap bertekanan tersebut disalurkan melalui pipa hingga masuk ke dalam ruang *steamer*. Di dalam ruang *steamer* pipa-pipa penyalur uap bertekanan dihubungkan dengan *nozzle* sehingga saat uap disebarkan dengan tekanan awal 2 bar turun hingga mencapai kondisi seimbang dengan lingkungan yaitu 1 atm. Setelah disemprotkan dengan *saturation vapor* yang berasal dari *Boiler*, bersamaan dengan itu daun teh dimasukkan ke dalam *steamer* yang berputar. Untuk mengetahui distribusi tekanan dan temperatur dalam ruang *steamer* maka digunakan model matematik *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi kecepatan, temperatur dan fraksi massa uap pada salah satu mesin operasi, yaitu *steamer* yang merata serta mengetahui pengaruh variasi kecepatan aliran uap terhadap distribusi temperatur dan fraksi massa uap. Analisa tersebut perlu dilakukan agar penulis dan pembaca dapat melihat kondisi kecepatan, temperatur dan fraksi massa uap dari *steamer* selama proses pelayuan daun teh.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Diagram Alir Metode Penelitian

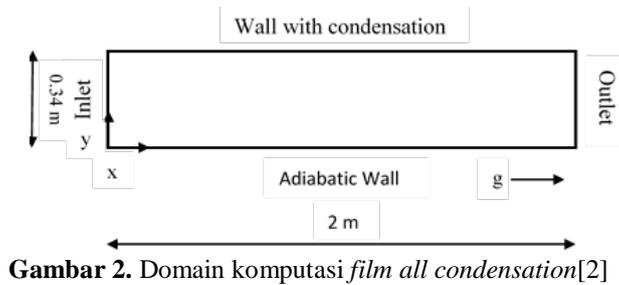


Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

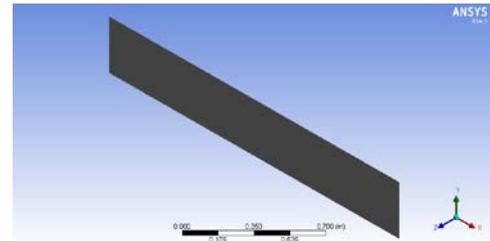
### 2.2 Simulasi Validasi Model Turbulen

Validasi yang dilakukan mengenai fenomena *film condensation* untuk mengetahui temperatur disekitar dinding yang mengalami kondensasi, dimana fenomena ini terjadi juga pada *vessel*. Metode yang digunakan turbulen  $k-\epsilon$ , bila hasilnya sudah sesuai maka dapat digunakan pada simulasi penelitian ini.

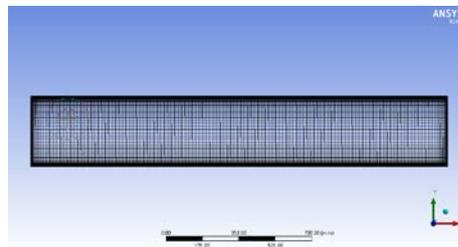
Geometri pada proses validasi *wall film condensation* dibuat mengikuti simulasi sesuai dengan jurnal Ladislav Vyskocil, 2014. Dengan geometri yang sama disimulasikan, lalu hasilnya dibandingkan dengan jurnal tersebut. Gambar 2 dan 3 merupakan domain komputasi dan geometri dari *film wall condensation*. Setelah pembuatan geometri, dilakukan proses penggenerasian *mesh* yang ditunjukkan pada Gambar 4. *Meshing* pada geometri dengan *number of divisions* sebesar  $57 \times 120$ . *Skewness* yang di dapat dari proses *meshing* ini adalah sebesar  $5.18E-03$ , sehingga *meshing* yang dilakukan dapat diterima karena *skewness* sudah memenuhi standar yang ditetapkan oleh FLUENT, yaitu lebih kecil dari 0,85.



Gambar 2. Domain komputasi *film all condensation*[2]



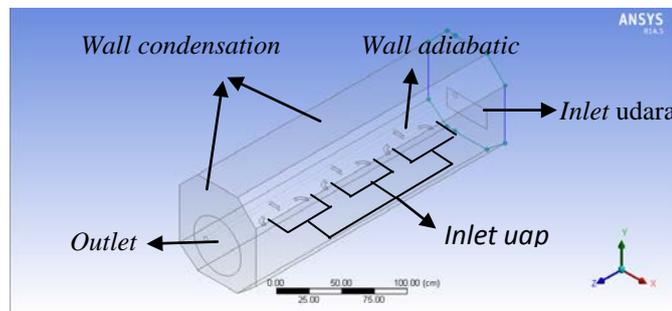
Gambar 3. Geometri *film wall condensation*



Gambar 4. Penggenerasian *mesh*

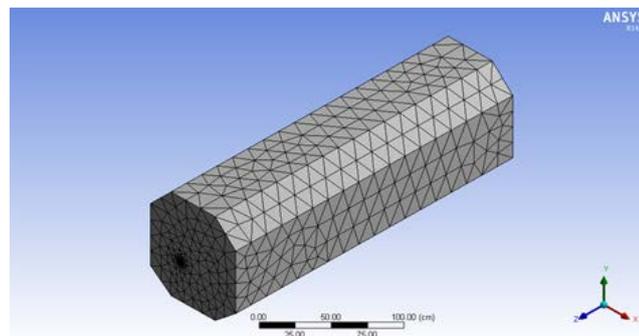
### 2.3 Pemodelan Steamer

Geometri yang sudah didesain di SOLIDWORKS dengan dimensi 270 cm x 90 cm x 83 cm disimpan dengan format .IGS kemudian dimasukkan ke dalam *design modeller* yang terdapat dalam ANSYS agar dapat terbaca saat *meshing* dan untuk menentukan kondisi batas dari geometri tersebut. Gambar 5 merupakan gambar model saat di *import* ke dalam ANSYS 14.5 dan kondisi batasnya.

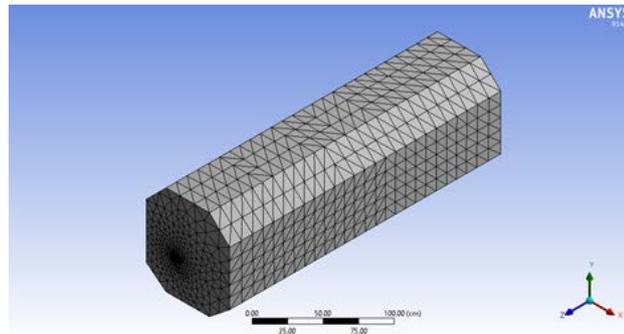


Gambar 5. Geometri *assembly steamer* di ANSYS 14.5 dan kondisi batasnya

Penggenerasian *mesh* dilakukan secara bertahap yaitu membuat *mesh* pada keseluruhan geometri seperti pada Gambar 6. Kemudian melakukan *inflation* pada kondisi batas *wall condensation* dengan maximum layer 20 dan *Growth rate* 1,2 dan pada bagian *outlet* dan *inlet* persegi di *inflation* dengan maximum layer 5 dan *Growth rate* 1,2. Kemudian pada bagian *inlet* di *edge sizing* dengan *Number of division* sebanyak 30 dengan *Growth rate* 1.2 seperti pada Gambar 7.



Gambar 6. Penggenerasian *mesh* pada geometri



**Gambar 7.** Penggenerasian *mesh* setelah dimodifikasi

Tabel 1 dan 2 memperlihatkan jumlah *skewness* dan parameter model *steamer*, sedangkan untuk tabel 3 berisi kondisi batas untuk fenomena yang terjadi.

**Tabel 1.** Jumlah *grid* dan *skewness* pada model *steamer*

No	Model	Jumlah grid	<i>Skewness</i>
1	<i>Steamer</i>	733600	0,81

**Tabel 2.** Parameter model

No	Parameter	Keterangan
1	<i>Multiphase</i>	<i>Mixture</i>
2	<i>Energy</i>	On
3	<i>Viscous</i>	K-e <i>Realizable</i>
4	<i>Species</i>	<i>Species transport</i>

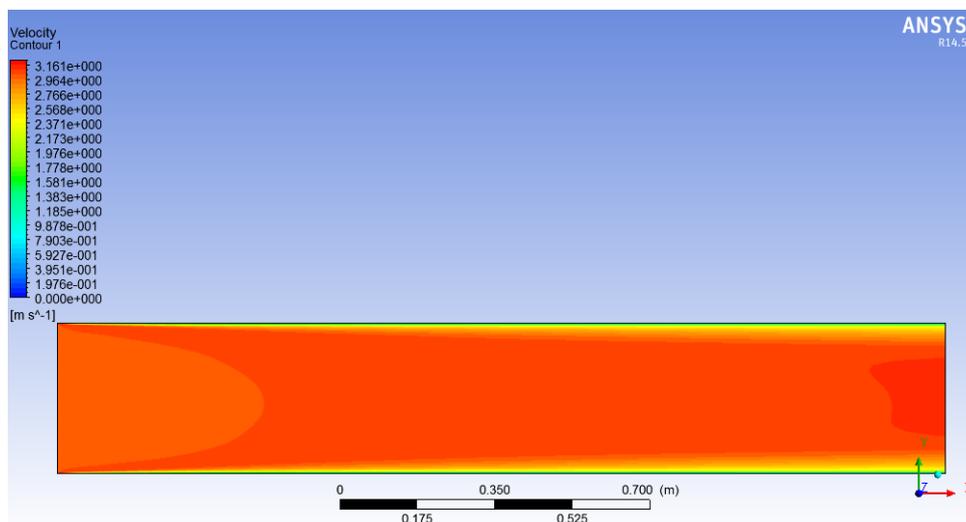
**Tabel 3.** Kondisi batas *steamer*

No	Parameter	Keterangan
1	Kecepatan masuk	43,22 m/s
2	Dinding adiabatik	97°C
3	Dinding kondensasi	80°C
4	Tekanan Keluar	1 atm
5	Densitas multifasa	Incompressible ideal gas

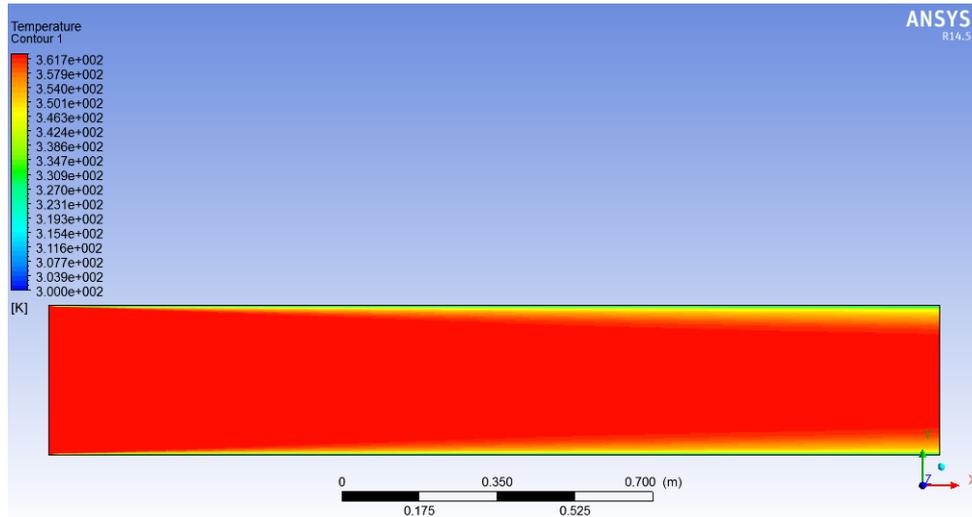
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Validasi

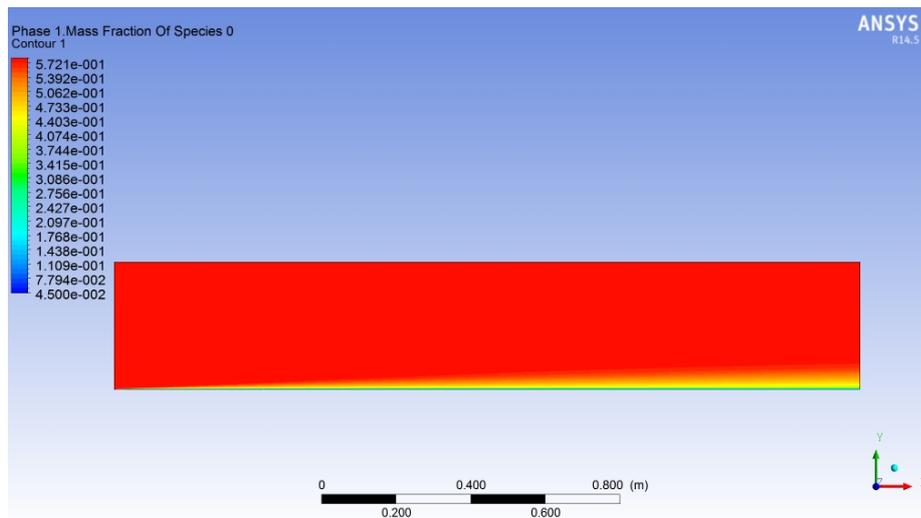
Dari validasi metode yang telah dilakukan didapat kontur kecepatan, temperatur dan fraksi massa uap untuk model turbulen *k-epsilon realizable*. Kontur tersebut diperlihatkan pada Gambar 8-10.



**Gambar 8.** Kontur kecepatan

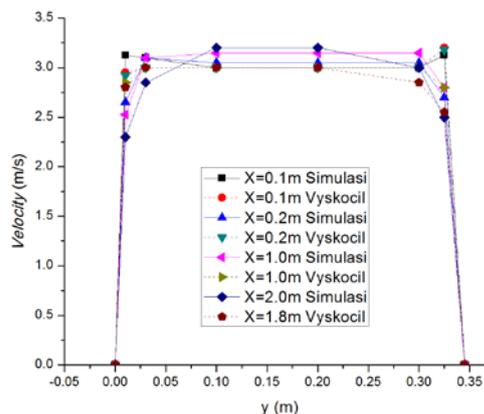


Gambar 9. Kontur temperatur

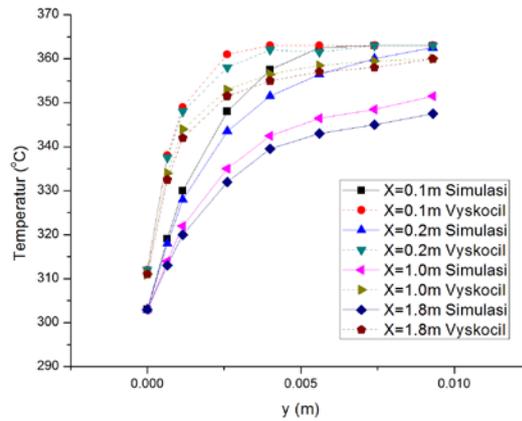


Gambar 10. Kontur fraksi massa uap

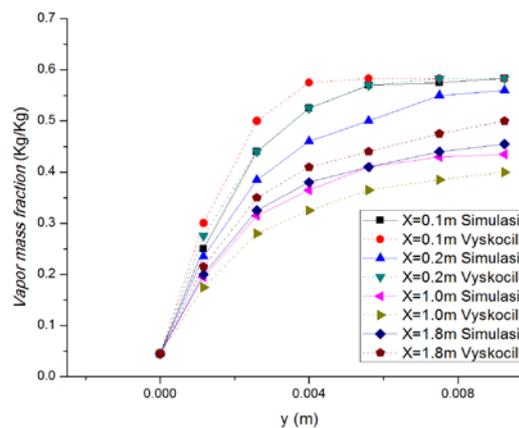
Dari hasil simulasi didapatkan grafik kecepatan, temperatur dan fraksi massa uap pada Gambar 11-13. Kemudian grafik tersebut dibandingkan dengan grafik yang ada pada jurnal referensi. Dari perbandingan yang dilakukan didapat *error* kurang dari 20%. Dengan *error* maksimum pada masing-masing grafik kecepatan, temperatur dan fraksi massa uap adalah 17,86%, 6,43%, dan 16,67%. Sehingga metode pada jurnal tersebut dapat diterapkan pada penelitian ini.



Gambar 11. Grafik kecepatan vs sumbu Y



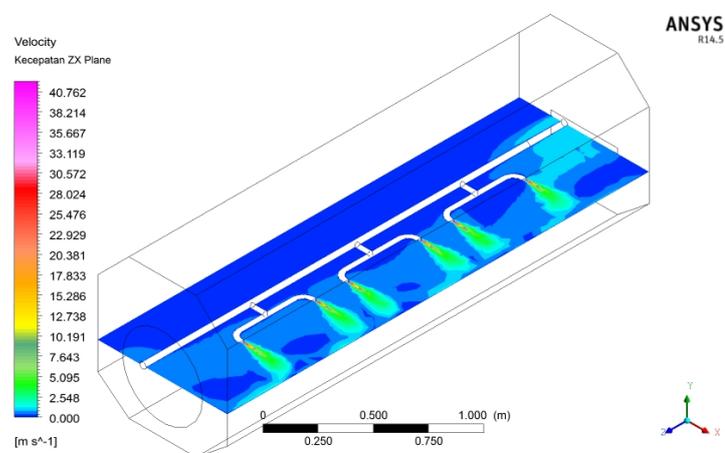
Gambar 12. Grafik temperatur vs sumbu Y



Gambar 13. Grafik fraksi massa uap vs sumbu Y

### 3.2 Hasil Simulasi Steamer

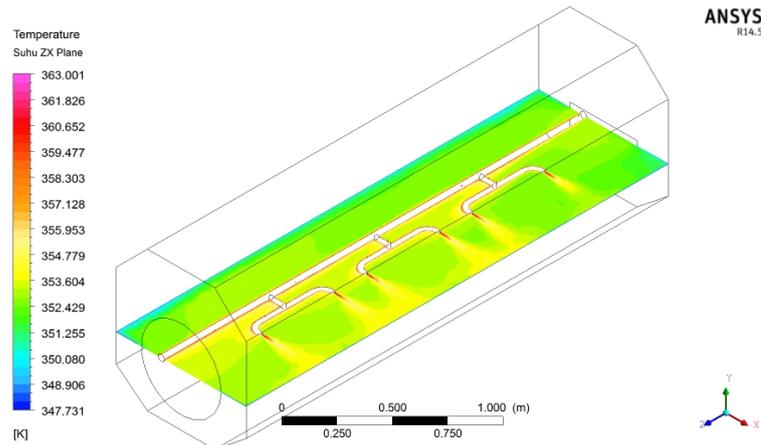
Distribusi kecepatan temperatur dan kelembaban relatif memiliki peran penting dalam proses pelayuan daun teh. Daun teh akan layu pada kondisi temperatur dan fakasi massa uap yang optimum. Berikut adalah Gambar 14 yang menggambarkan kondisi kecepatan di dalam ruang.



Gambar 14. Kontur kecepatan untuk kecepatan 43,22 m/s

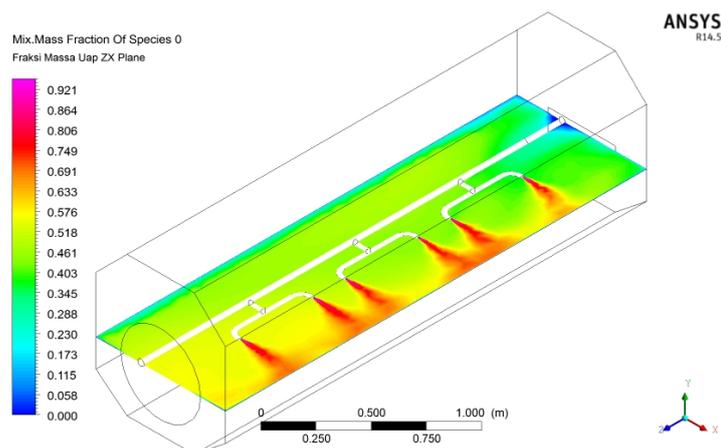
Berdasarkan Gambar 14 fenomena yang terjadi di dalam ruang *steamer* pada *outlet nozzle* seragam dan memiliki kecenderungan kontur yang sama. Fenomena tersebut terjadi karena kecepatan pada setiap lubang *outlet* diasumsikan seragam. Pada simulasi ini kondisi di dinding juga diasumsikan tidak kasar (*slip*) sehingga tidak ada pengaruh dari dinding *steamer* terhadap distribusi kecepatan disekitar dinding. Sesuai dengan Bukurov M., campuran uap memiliki

peran besar dalam proses kondensasi. Kecepatan uap *inlet* menurun secara tiba-tiba menuju ke *outlet* dari ruang pencampuran. Profil kecepatan pada bagian tertentu dari ruang pencampuran memiliki kecenderungan memiliki kecepatan yang sama[3].



**Gambar 15.** Kontur temperatur untuk kecepatan 43,22 m/s

Pada Gambar 15 terlihat pipa *steam* yang memiliki 6 lubang sebagai *inlet* uap dan berdiameter 1 cm. Pipa tersebut mengeluarkan uap saturasi dengan kondisi temperatur yang memasuki ruang *steamer* 100°C. Namun karena pengaruh volume *steamer* yang cukup besar dan pipa *steam* yang berukuran kecil maka terjadi penurunan temperatur secara perlahan. Selain itu penurunan temperatur juga diakibatkan adanya udara yang masuk dari sisi masuk umpan daun teh. Kemudian untuk kondisi dinding diasumsikan 75°C agar temperatur ruang *steamer* memiliki persebaran yang merata berkisar antara 75°C-100°C. Sedangkan untuk *outlet* diasumsikan pada suhu 52°C. Pernyataan ini sesuai dengan Syaiful, udara panas yang keluar dari dalam *inlet* dan masuk ke dalam ruang pengering mengalami penurunan temperatur yang disebabkan oleh adanya udara yang masuk. Dengan temperatur yang optimal maka uap yang dihasilkan di dalam *steamer* mampu melayukan daun teh dengan lebih merata[4].



**Gambar 16.** Kontur fraksi massa uap untuk kecepatan 43,22 m/s

Pada Gambar 16 terlihat fraksi massa uap setelah keluar dari *inlet*. Seiring dengan menurunnya kecepatan fluida dan temperatur *steamer* maka fraksi massa dari uap mengalami penurunan juga. Fraksi massa uap yang mula-mula memiliki konsentrasi 0,95 kemudian mengalami penurunan hingga mencapai konsentrasi 0. Dari penampang tersebut perbedaan kontur lebih terlihat pada bagian *inlet* hingga ke dinding bagian kanan. Fraksi massa uap kecepatan masuk 43,22 m/s berada dikisaran 0,95 sampai dengan 0,691 dengan intensitas terbanyak pada kisaran 0,749. Kemudian bila dilihat pada kontur disekitar *inlet steamer* akan berwarna merah muda. Warna merah muda menunjukkan tingginya konsentrasi fraksi massa sehingga menyebabkan uap mengalami kondensasi. Kecepatan masuk berbanding lurus dengan debit aliran. Apabila debit aliran tinggi maka uap yang keluar dari pipa akan semakin banyak, hal ini mengakibatkan uap cepat mengalami kondensasi. Proses kondensasi yang terlalu cepat tidak akan menurunkan kadar air pada daun teh sehingga daun teh tidak layu. Sedangkan dengan kecepatan 43,22 m/s produk teh yang dihasilkan layu namun tetap berwarna hijau.

#### 4. Kesimpulan

Dari kontur distribusi kecepatan yang diperoleh pada proses simulasi CFD dapat disimpulkan bahwa setelah uap keluar dari *nozzle*, persebaran kecepatan tidak terlalu berbeda. Begitu juga untuk distribusi temperatur, perbedaan temperatur rata-rata 5-10°C. Dengan distribusi temperatur memiliki rata-rata temperatur ruang 80°C. Namun berbeda pada fraksi massa uap, terlihat fraksi massa uap mengalami perubahan signifikan. Konsentrasi yang mula-mula sebesar 0,95 kemudian mengalami penurunan hingga sampai pada konsentrasi 0. Secara keseluruhan pengkondisian ruang dengan kecepatan masuk 43,22 m/s dapat melayukan daun teh untuk dilakukan proses pada tahap berikutnya.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Sudjarmoko, B. 2014. *Perkembangan Pasar Teh Indonesia Di Pasar Domestik Dan Pasar Internasional*. Badan Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar. Kementrian Pertanian.
- [2] Ladislav V., Josef S., Jiri M. 2014. *CFD Simulation of Air Steam Flow with Condensation*. Department of Thermal Hydraulic Analyses. Czech Republic.
- [3] Bukurov M., Bikic S., Mijina P. 2012. *The Efficiency Rate of a Steam-Water Injector*. University of Novi Sad.
- [4] Syaiful M., Hargono. 2009. *Profil Suhu Pada Proses Pengeringan Produk Pertanian Dengan Simulasi Computational Fluid Dynamics*. Universitas Diponegoro.