

PEMODELAN ALIRAN GAS BUANG TURBIN GAS DALAM SISTEM EXHAUST PLENUM TIPE Fr-9E

Susilo Adi Widyanto

Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro
susilo70@yahoo.com

Abstrak

Pembelokan aliran gas buang turbin gas dengan temperatur 560°C merupakan kondisi kritis dalam sistem operasi exhaust plenum. Selain mengalami beban thermal yang cukup tinggi, dinding dalam (liner sheet) exhaust plenum mengalami tekanan akibat kecepatan aliran yang besarnya sekitar 36 m/detik yang sifatnya tidak terdistribusi merata pada seluruh dindingnya. Paper ini membahas tentang simulasi pola aliran, distribusi tekanan dan distribusi temperatur pada struktur liner sheet sistem exhaust plenum. Pada simulasi pertama liner sheet dimodelkan tanpa clamp bar, sedangkan pada pemodelan kedua liner sheet ditempel clamp bar yang berfungsi sebagai pengikat liner sheet terhadap schallop bar dan frame. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan clamp bar yang disesuaikan dengan arah aliran terbukti mampu meningkatkan keteraturan pola aliran terutama pada dinding samping dimana proses pembelokan arah aliran terjadi.

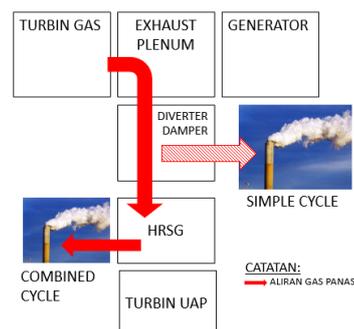
Kata kunci: exhaust plenum, clamp bar, frame, liner sheet, turbin gas

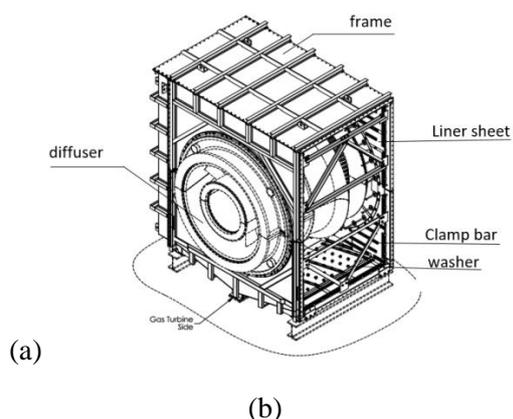
I. Latar Belakang

Program 35000 Mw merupakan salah satu upaya pemerintah untuk meningkatkan iklim investasi guna mendorong pertumbuhan industri di Indonesia. Berbagai jenis sistem pembangkit dioperasikan diantaranya adalah Sistem Pembangkit Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Pada prinsipnya sistem PLTGU menggunakan turbin gas dan turbin uap dalam proses pembangkitan daya listriknya. Gas buang turbin gas yang temperaturnya sekitar 560°C digunakan untuk membangkitkan uap dalam sistem Heat Recovery Steam Generator (HRSG) yang hasilnya digunakan untuk memutar turbin uap.

Dalam prosesnya, aliran gas panas yang keluar dari sistem turbin gas dilewatkan melalui lorong (sistem exhaust) untuk dialirkan ke dalam sistem HRSG. Didasarkan pada lay-out operasionalnya, aliran gas panas harus dibelokkan di dalam sistem exhaust plenum untuk dimasukkan ke dalam sistem HRSG. Sedangkan untuk tujuan proses pemeliharaan, aliran gas panas dilewatkan kembali didalam sistem diverter damper. Pada sistem simple cycle gas panas langsung dibuang melalui stack (cerobong), sedangkan pada sistem combined cycle gas panas dimasukkan ke dalam sistem HRSG untuk membangkitkan uap. Lay-out operasional sistem pembangkitan PLTGU diilustrasikan dalam Gambar 1.

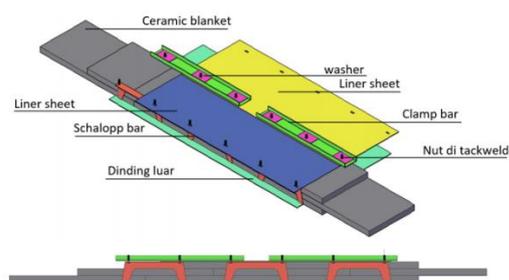
Penyebab kegagalan pada sistem liner sheet maupun pada diffuser berupa temperatur, aliran gas berkecepatan tinggi dan tekanan yang melewati dinding. Parameter tersebut secara langsung akan berdampak pada pemendekan umur operasi dan mempercepat laju perambatan retak (Heidarzady dan Hamzehei, 2016). Kegagalan liner sheet dapat berupa lepasnya dinding, abrasi maupun retakan yang mendorong terjadinya kondisi inefisiensi bahkan menimbulkan kondisi yang membahayakan bagi lingkungan kerjanya.





Gambar 1. a. Lay-out operasional sistem PLTGU, b. Sistem exhaust plenum.

Dinding sistem exhaust plenum didesain terdiri dari tiga lapisan yang berupa frame, sistem insulation (ceramic blanket) dan liner sheet. Karakteristik liner sheet dibuat agar dinding ini mampu mengakomodir terjadinya pemuaian akibat aliran gas panas yang langsung mengenai permukaannya. Ketebalan sistem insulasi dinding exhaust plenum adalah 100 mm yang merupakan celah antara frame dan liner sheet. Untuk mempertahankan lebar celah diantara frame dan liner sheet dipasang struktur schalopp bar yang berfungsi juga sebagai struktur pengikat liner sheet. Secara umum konstruksi dinding sistem exhaust dan komponennya ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Konstruksi dinding sistem exhaust plenum.

Dalam sistem exhaust plenum aliran gas panas yang keluar dari diffuser dibelokkan menuju sistem HRSG. Oleh karena itu distribusi tekanan yang diterima oleh liner sheet tidak akan merata pada semua liner sheet nya. Pada sisi yang lain pada permukaan liner sheet harus dipasangkan komponen clamp bar atau washer yang berfungsi untuk mengikat liner sheet terhadap struktur framenya.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengobservasi pengaruh parameter-parameter desain dan operasional sistem exhaust terhadap umur maupun pengembangan metode untuk meningkatkan umur operasional sistem exhaust. Ubiertini dan Desideri (2000) meneliti optimasi suatu model diffuser turbin gas dengan 24 sirip yang terpasang pada sisi masukan. Hasil penelitian mereka menyebutkan baha untuk menjaga kesamaan geometrinya, rasio luasan dan rasio panjang terhadap diameter adalah sebesar 1.53 dan 2.01.

Kim et al (2011) melakukan analisis heat transfer dan menentukan lifetime komponen luar dari shell dan liner chamber gas turbin dengan aliran pendingin. Metode yang diterapkan berupa suatu proses dengan sistem pendingin untuk memperbaiki lifetime material dengan meningkatkan efiseinsi pendinginannya. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa terdapat beberapa area yang diperbaiki siklus thermalnya sehingga daerah retakan dapat diminimalisir.

Djebedjian dan Renaudeau (1998) melakukan analisis numeris pada aliran turbulen dalam gas buang turbin gas. Dalam penelitiannya, diffuser dimodelkan dan hasilnya dibandingkan dengan hasil ekseperimental untuk koefisien tekanan statisnya.

Su dan Zhu (2000) melakukan studi numeris pada interaksi chamber dan diffuser yang menggunakan KIV A-3V code. hasil penelitian mereka menjelaskan bahwa ketidak seragaman laju aliran masuk gas buang turbin berpengaruh pada sistribusi temperatur chamber.

Mustafa et al (2006) menguji annular channel dalam sistem turbin gas. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya peningkatan tekanan sepanjang sumbu channel yang mencegah terjadinya pemisahan antara aliran utama dan aliran sekunder dalam channel.

Paper ini membahas tentang pemodelan pola aliran dan distribusi tekanan liner sheet pada sistem exhaust plenum. Informasi yang diperoleh digunakan sebagai dasar desain pemosisian schalopp dan clamp bar sehingga umur operasional exhaust plenum dapat dioptimalkan.

II. Metode

Sistem exhaust plenum yang dimodelkan merupakan produk General Electric dengan seri produk Fr-9E. Aspek dimensional model sistem

exhaust plenum diperoleh dari data literatur dan hasil pengukuran langsung. Fungsi dan karakteristik komponen sistem exhaust plenum dan diffuser diuraikan sebagai berikut:

a. Frame

Frame merupakan struktur utama dan dinding luar sistem exhaust plenum yang terbuat dari bahan IWF 200 dan dinding berupa material plat A 36 dengan ketebalan 8 mm.

b. Ceramic blanket

Ceramic blanket merupakan material insulasi yang digunakan sebagai penyekat panas yang diletakkan diantara dinding frame dan liner sheet. Karakteristik fisik dan thermal ceramic blanket yang digunakan seperti diuraikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Fisik dan Thermal Material Ceramic Blanket

BULK FIBRE			
Properties	High Temp.	Regular Temp.	Low Temp.
Maximum use temperature, °C	1400	1260	980
Density, kg/m ³ [lbs/ft ³]	80 ~ 100 [5 ~ 6.3]		
Thermal Conductivity for 128 kg/m ³ at mean temp. of 550°C, W/m.K [BTU-in/hrft ² °F]	0.12 [0.83]		
Applications	Expansion joints, packing and filling, secondary processing		

CERAMIC FIBRE BLANKETS			
Properties	High Temp.	Regular Temp.	Low Temp.
Maximum use temperature, °C	1400	1260	980
Dimensions, mm	Width: 610, 1220 Length: 7620		
Density, kg/m ³ [lbs/ft ³]	64, 96 and 128 [4, 6 and 8]		
Thickness, mm	13, 19, 25, 38 and 50		
Thermal Conductivity for 128 kg/m ³ at mean temp. of 550°C, W/m.K [BTU-in/hrft ² °F]	0.11 [0.76]		
Applications	Crude oil, reformer and pyrolysis heater linings, high temperature pipe, duct and turbine insulation, tube seals, gaskets and expansion joints, heat treating and annealing furnaces, reheating furnaces, soaking pit covers and seals, furnace hot face repairs, kilns and kiln car insulation and seals. Stress relieving insulation, ovens and stack linings. Boiler and air preheater insulation. Fire protection applications etc.		

c. Liner sheet

Liner sheet terbuat dari material SS 310 dengan tebal 3 mm. Komposisi kimia dan karakteristik fisik material SS 310 diuraikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3. Untuk mengakomodasi pemuaiannya yang terjadi pada siklus pengoperasiannya, lubang baut liner sheet berdiameter 35 mm dengan baut pengikat M14. Liner sheet dibuat secara modular dengan dimensi yang bervariasi. Pola susunan liner sheet pada dinding depan sistem exhaust plenum seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.

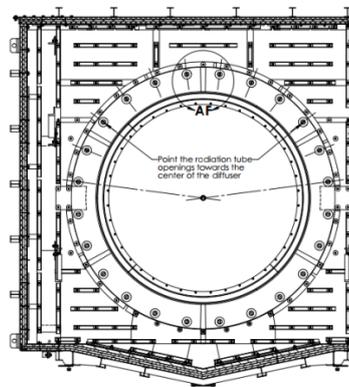
Tabel 2. Komposisi Kimia Material SUS 310 (AZO Materials)

KANDUNGAN UNSUR	PROSENTASE	
	Min	Maks
C	-	0,25
Mn	-	2,00
Si	-	1,50
P	-	0,045
S	-	0,03
Cr	24,0	26,0

Ni	19,0	22,0
----	------	------

Tabel 3. Karakteristik Fisik (AZO Materials)

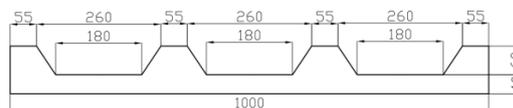
Densitas (kg/m ³)	7750
Modulus elastis (Gpa)	200
Koefisien ekspansi thermal 0-538 °C (µm/m/°C)	17,0
Konduktivitas thermal 500°C (W/m.K)	18,7
Specific Heat 0-100°C (J/kg.K)	500
Electrical Resistivity (nΩ.m)	720



Gambar 3. Pola susunan liner sheet pada dinding load compartment sistem exhaust plenum.

d. Schallop bar

Schallop bar merupakan struktur penyangga liner sheet yang dilas dengan struktur frame yang terbuat dari material plat tebal 3 mm. Pada struktur schallop bar ini poros ulir di las yang difungsikan untuk memegang liner sheet. Dimensi schallop bar dan pemasangannya ditunjukkan dalam Gambar 4.

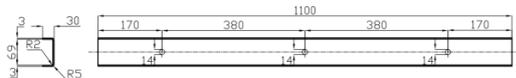


Gambar 4. Dimensi schallop bar.

e. Clamp bar

Clamp bar merupakan komponen untuk menjepit liner sheet agar permukaan dalamnya menempel pada scallop bar. Disamping itu pemasangan clamp bar ditujukan untuk memperoleh kerataan permukaan liner sheet.

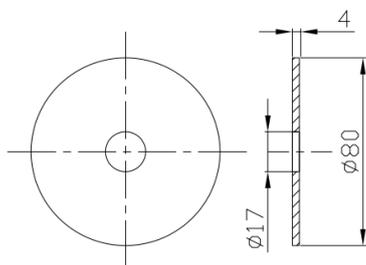
Geometri clamp bar seperti ditunjukkan dalam Gambar 5 yang terbuat dari material plat tebal 3 mm yang ditekuk berbentuk U.



Gambar 5. Geometri clamp bar.

f. Washer

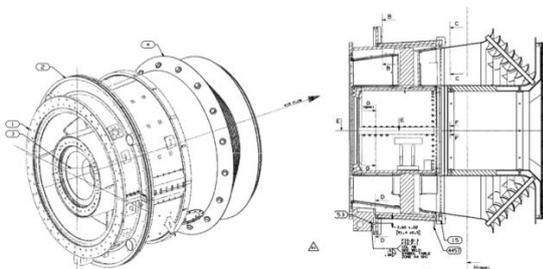
Washer berfungsi sebagai bantalan nut untuk mengikat liner sheet yang berfungsi untuk mendistribusikan tekanan pengencangan baut pada seluruh permukaan efektifnya. Washer terbuat dari material plat SUS 310 dengan tebal 3mm yang dipotong sehingga berbentuk lingkaran seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Dimensi washer.

g. Diffuser

Diffuser berfungsi untuk mendistribusikan aliran alirasi panas yang keluar dari turbin gas. Diffuser dipasang di dalam sistem exhaust plenum dengan instalasi sejajar terhadap sumbu poros turbin gas dan generator. Luasan aliran masuk gas panas merupakan luasan diantara diameter dalam dan diameter inner burrel yang merupakan sistem casing poros turbin gas. Aspek geometri dan data dimensi sistem diffuser ditunjukkan dalam Gambar 7.



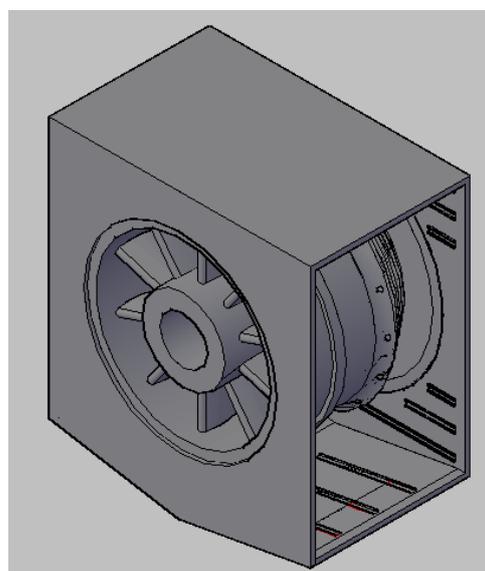
Gambar 7. Sistem diffuser.

Pemodelan 3D dilakukan dengan mengasumsikan dinding exhaust plenum berupa dinding tunggal dengan ketebalan dinding 3 mm

yang terbuat dari bahan SUS 310 (Gambar 8). Dalam simulasinya, liner sheet dimodelkan tanpa dan dengan dipasang clamp bar (dimensi penampang clamp bar ditunjukkan dalam Gambar 5). Data aliran gas panas yang digunakan sebagai masukan dalam proses simulasi FEM sesuai dengan Tabel 4.

Tabel 4. Data Masukan dalam Simulasi FEM

bahanbakar	Natural gas
Kecepatanaliranmasuk	36 m/s
Temperaturaliran	565°C

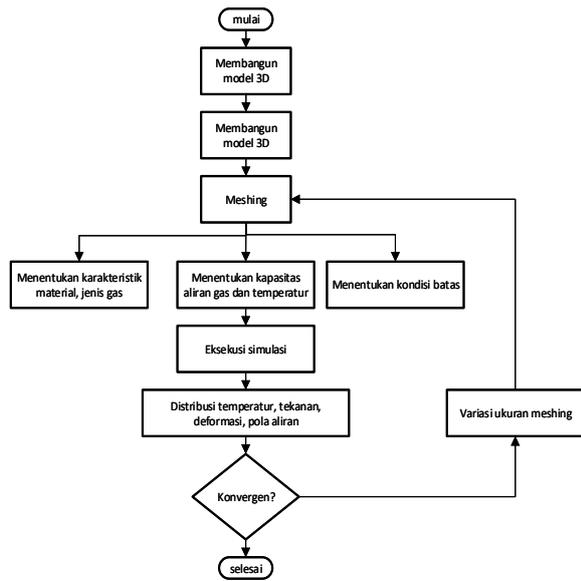


Gambar 8. Model 3D sistem exhaust plenum dengan clamp bar pada liner sheet-nya.

Pemodelan aliran gas panas dalam sistem exhaust plenum ditujukan untuk mensimulasikan:

- Pola aliran dalam exhaust plenum pada kondisi liner sheet tanpa clamp bar
- Distribusi tekanan pada liner sheet dalam tanpa clamp bar
- Pola aliran dalam exhaust plenum pada kondisi liner sheet dengan clamp bar
- Distribusi tekanan pada liner sheet dengan clamp bar
- Distribusi temperatur pada oiner sheet dengan clamp bar

Pemodelan dilakukan sesuai dengan diagram alir Gambar 8.

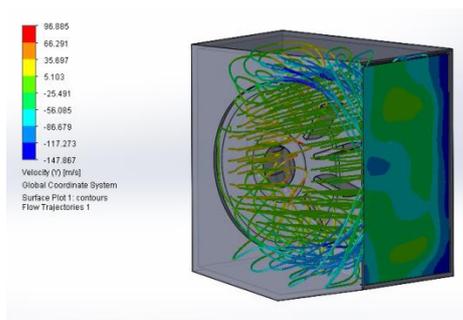


Gambar 9. Diagram alir pemodelan aliran gas panas dalam sistem exhust plenum.

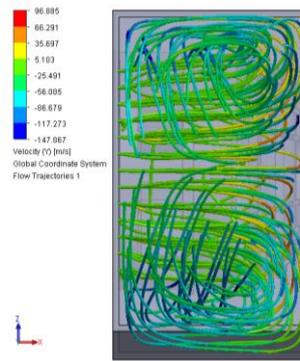
III. Hasil Dan Pembahasan

a. Simulasi Pola Aliran Gas Panas pada liner sheet tanpa clamp bar

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dinding samping difuser yang berseberangan dengan sisi keluaran aliran (sisi aliran yang menuju HRSG) berfungsi sebagai dinding pembalik aliran sehingga di lokasi tersebut terjadi aliran turbulen dengan kecepatan maksimumnya sebesar 66 m/s. Demikian halnya pada sisi keluaran, aliran juga bersifat turbulen, dengan kecepatan maksimum sebesar 147 m/s yang terjadi pada permukaan dinding di lokasi sambungan dengan *expansion joint* seperti ditunjukkan dalam Gambar 10.



(a)

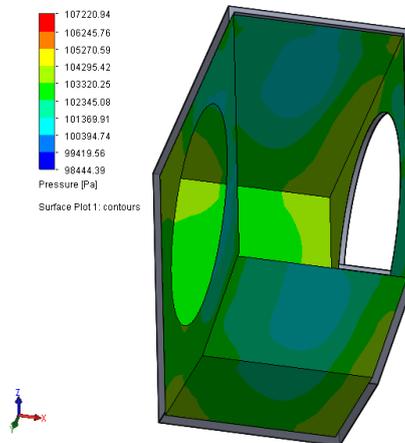


(b)

Gambar 10. a. Distribusi aliran pada sisi keluaran sistem *exhaust* plenum, b. Pola aliran gas panas dilihat dari jalur keluaran *exhaust* plenum.

b. Simulasi distribusi tekanan liner sheet tanpa clamp bar

Hasil simulasi tekanan pada masing-masing dinding dalam *exhaust* plenum ditunjukkan dalam Gambar 11. Tekanan maksimum dinding dalam mencapai 0,1 MPa yang berlokasi pada dinding samping, sedangkan tekanan minimalnya sebesar 0,098 MPa.

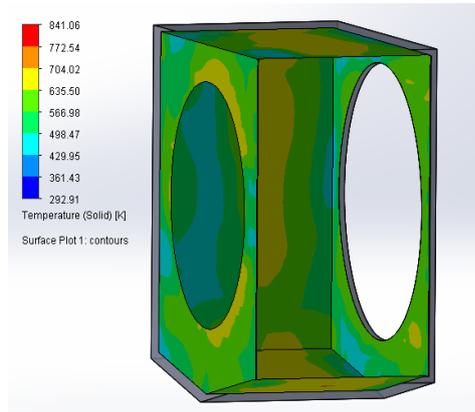


Gambar 11. Distribusi tekanan dinding dalam pada *exhaust* plenum tanpa *clamp bar*.

c. Simulasi distribusi temperatur pada liner sheet tanpa clamp bar

Hasil simulasi distribusi temperatur pada dinding dalam menunjukkan bahwa temperatur tertinggi mencapai 841°K yang terjadi di salah satu lokasi pada dinding lantai. Rata-rata temperatur sekitar 600°K yang tersebar merata pada dinding *floor*, dinding yang berseberangan

dengan jalur keluaran dan dinding atas (Gambar 12).

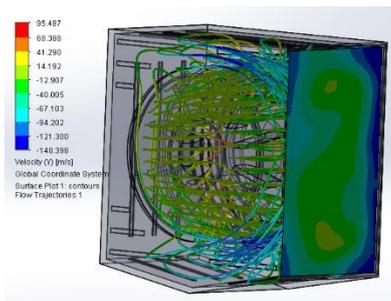


Gambar 12. Distribusi temperatur pada permukaan dinding dalam *exhaust* plenum tanpa *clamp bar*.

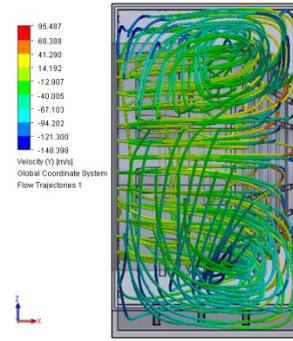
d. Simulasi pola aliran gas panas pada liner sheet dengan clamp bar

Pola aliran pada dinding samping berupa aliran turbulen tetapi dengan derajat keteraturan yang lebih baik dibandingkan dengan model sebelumnya. Hal ini dibuktikan dengan kecepatan rata-rata di lokasi tersebut lebih rendah dibandingkan model sebelumnya. Kecepatan maksimum mencapai 30 m/s. Pola aliran pada jalur keluaran cenderung lebih merata dengan kecepatan rata-rata lebih rendah dibandingkan konstruksi dinding dalam tanpa *clamp bar*. Kecepatan maksimum sekitar 148 m/s yang terjadi pada dinding di lokasi sambungan dengan *expansion joint* (Gambar 13).

Pada dinding samping secara dominan *clamp bar* dipasang secara vertikal yang disesuaikan dengan arah aliran gas panas. Geometri *clamp bar* turut berperan dalam mengarahkan aliran sesuai dengan orientasinya. Kondisi tersebut merupakan salah satu hal yang menyebabkan peningkatan pola keteraturan aliran.



(a)

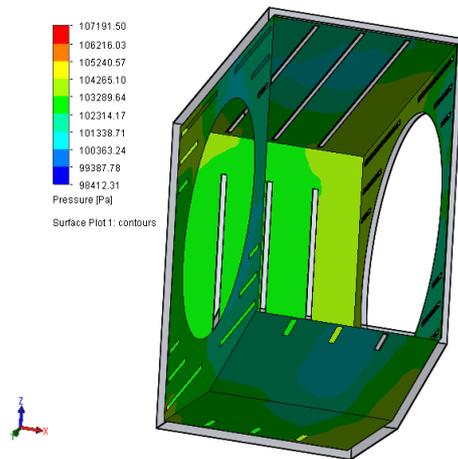


(b)

Gambar 13.a. Distribusi kecepatan aliran gas panas pada jalur keluaran sistem *exhaust* plenum dengan *clamp bar* pada dinding dalamnya, b. Pola aliran gas panas *exhaust* plenum dilihat dari jalur keluarannya.

e. Simulasi distribusi tekanan pada liner sheet dengan clamp bar

Pemasangan struktur *clamp bar* tidak berpengaruh pada tekanan kerja dinding dalam. Hal ini ditunjukkan dengan hasil simulasi Gambar 14. Distribusi tekanan pada dinding dalam *exhaust* plenum dengan *clamp bar* relatif sama dengan distribusi tekanan dinding pada *exhaust* plenum tanpa *clamp bar*.



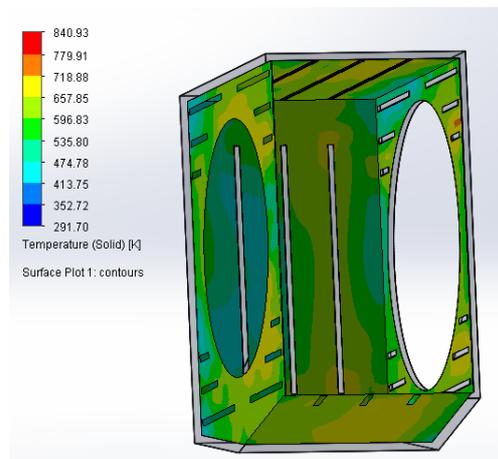
Gambar 14. Distribusi tekanan pada dinding dalam *exhaust* plenum dengan *clamp bar*.

f. Simulasi distribusi temperatur pada liner sheet dengan clamp bar

Distribusi temperatur pada dinding dalam cenderung lebih rendah dibandingkan model tanpa *clamp bar*. Temperatur tertinggi sekitar 840°K yang terjadi di salah satu lokasi dinding yang berdekatan dengan *expansion joint*.

Temperatur rata-rata sekitar 500°K yang terjadi pada *floor*, dinding atas dan dinding yang berseberangan dengan jalur keluaran (Gambar 15).

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemasangan struktur clamp bar bukan hanya ditujukan untuk penguatan pengikatan liner sheet dari sisi konstruksi, tetapi clamp bar juga berkontribusi positif sebagai komponen pelepas panas dalam struktur liner sheet. Hal tersebut tidak terlepas dari geometri clamp bar, dimana bidang tekuk pada kedua sisinya berfungsi sebagai sirip sehingga mengefektifkan dalam proses pendinginan temperatur.



Gambar 15. Distribusi temperatur pada dinding sistem *exhaust* plenum dengan *clamp bar* pada dinding dalamnya.

IV. Kesimpulan

- Dinding samping merupakan dinding dengan beban tekanan terbesar dibandingkan dinding lainnya. Pada dinding ini pemasangan clamp bar terbukti mampu meningkatkan keteraturan pola liran yang ditunjukkan dengan kecepatan aliran maksimumnya menurun dari 66 m/s menjadi sekitar 30 m/s. Hal itu dikarenakan orientasi pemasangan clamp bar dalam arah vertikal yang searah dengan pola aliran gas panas.
- Clamp selain berfungsi sebagai komponen pengikat dinding terbukti secara efektif juga sebagai komponen pendinginan panas struktur liner sheet.

Daftar Pustaka

Djebedjian, B and Renaudeau, J.P., 1998. Numerical and experimental investigation of the flow in annular diffuser. Proceeding of FEDSM'98, ASME Fluids Engineering

Division Summer Meeting, June 21-25, Washington., pp:1-6.

Heidarzady, E dan Hamzehei, M., 2016. Numerical Simulation of Flow and Heat in Gas Turbine Exhaust Diffuser. Journal Engineering and Applied Science., 11(3): 610-615.

<https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=966>, dilihat pada 23 April 2018.

Kim, K.M., Jeon, Y.H., Yun, N., Lee, D.H and Cho, H.H., 2011. Thermo-mechanical life prediction for material lifetime improvement of an internal cooling system in a combustion liner. Energy., 36:942-949.

Mustafa, A.H., Hashmi, M.S.J, Yilbas, B.S and Sunar, M., 2006. Thermal stress analysis in annular duct resembling gas turbine transition piece. J. Mater Process. Technol., 171: 285-294.

Su, K and Zhou, C.Q., 2000. Numerical modeling of gas turbine combustor integrated with diffuser. Proceeding of the 34th National Heat transfer Conference.

Ubiertini, S and Desideri, U., 2000. Flow development and turbulence length scales within an annular gas turbine exhaust diffuser. Exp. Therm. Fluid Sci., 22:55-70.

Vendor Supplied Drawing of GE Power Generation., Exhaust Plenum Type FR-9E, 2012.