

BAB V

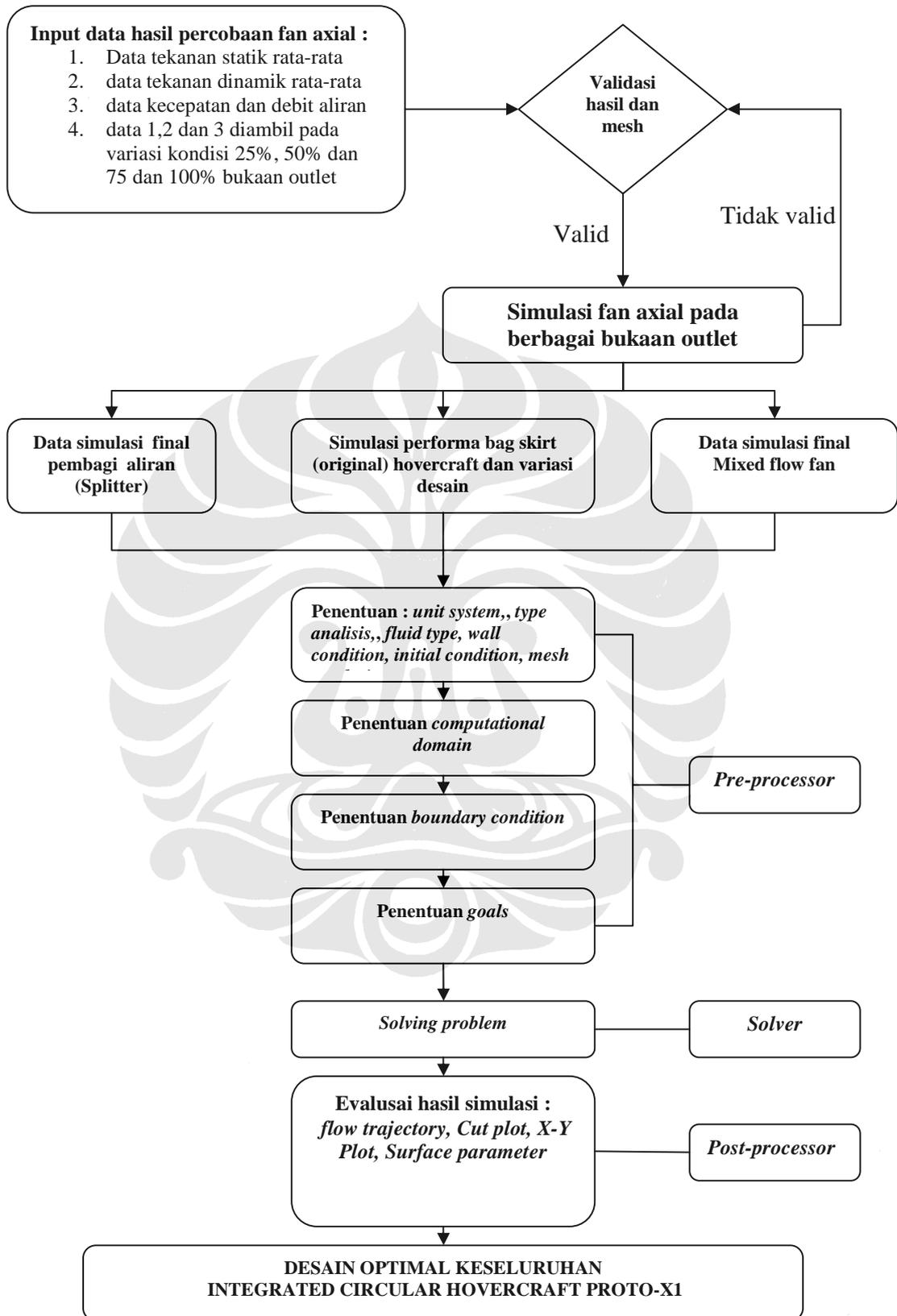
PROSES SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

5.1 PROSES DAN *FLOW CHART* SIMULASI *CFD*

Proses simulasi *CFD* adalah satu metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang terjadi dalam *bag* dan *cushion area*. Selain karakteristik aliran, dari hasil simulasi juga dapat dianalisis nilai-nilai variabel aliran seperti tekanan, kecepatan dan debit aliran udara yang masuk dan keluar dari sistem. Seperti yang telah dijelaskan pada BAB III, proses simulasi *CFD* dilakukan untuk mengevaluasi performa kerja rancang bangun *circular hovercraft proto-x1*, modifikasi desain *bag skirt* dan untuk melihat performa kerja modifikasi final desain keseluruhan *circular hovercraft* tersebut.

Proses simulasi dengan menggunakan *CFD* adalah proses komputasi yang memiliki tahapan-tahapan khusus yang sangat menentukan validitas hasil yang didapat. Tahapan ini terdiri atas pendefinisian data inputan dalam sistem, penentuan kondisi batas aliran fluida, pemilihan mesh dan level mesh, penentuan parameter dalam penyelesaian simulasi hingga penyajian hasil akhir simulasi yang berupa grafik, kontur aliran fluida maupun vektor aliran fluida. Pendefinisian masing-masing tahapan ini haruslah dilakukan dengan cermat dan benar agar tidak terjadi kesalahan teknis dalam simulasi.

Pada bab ini diperlihatkan langkah-langkah dalam pengerjaan masing-masing tahap yang berupa flowchart simulasi *CFD* dengan menggunakan *Solidworks* dan *EFD Lab 8.1*. Berikut adalah *flowchart* simulasi yang dilakukan :



Gambar 5.1 Flowchart simulasi

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1 PERFORMA KERJA SISETEM BAG SKIRT INTEGRATED CIRCULAR HOVERCRAFT PROTO-X1

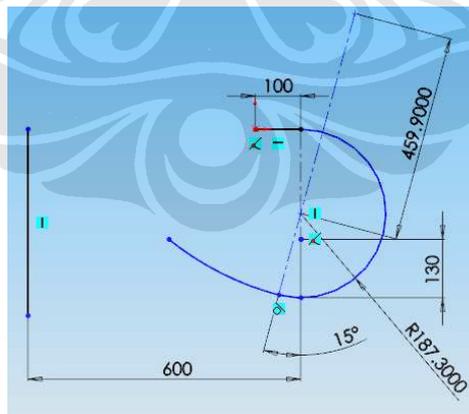
6.1.1 Analisis performa sistem bag skirt dengan spesifikasi tekanan input 735.5 Pa (102060.5 Pa)

1. Desain bag skirt dengan variasi 8 buah transfer hole, diameter 80 mm

Pada desain asli dari *integrated hovercraft (circular)*, terdapat 8 buah lubang pada area bawah *skirt*, dengan masing-masing lubang berdiameter 80 mm. Berikut adalah spesifikasi desain original *hovercraft* tersebut :



(a)



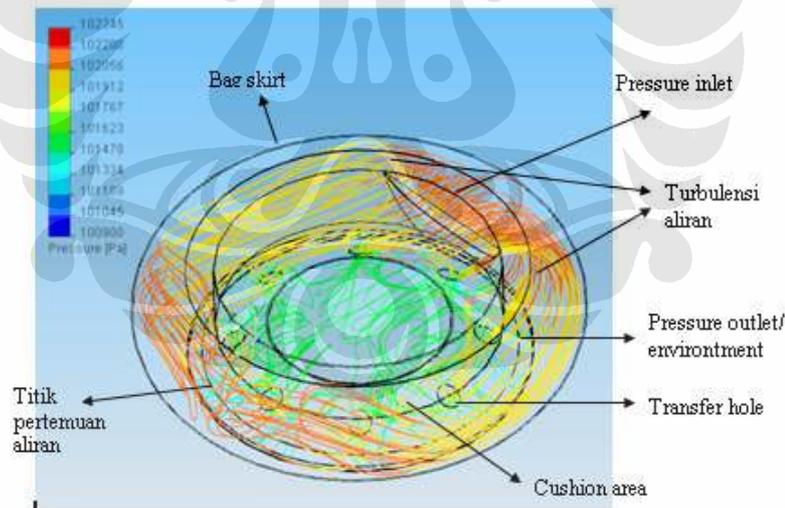
(b)

Gambar 6.1 (a) Desain original *bag skirt circular hovercraft proto-X1*

Lubang-lubang tersebut berfungsi sebagai *nozzel* dan sekaligus berfungsi menghubungkan aliran udara secara langsung dari bagian *bag* ke bagian *cushion* pada *hovercraft*.

Dari hasil pengamatan dan pengujian di lapangan, didapat bahwa spesifikasi desain ini belum mampu memberikan performa gaya angkat (*lift force*) pada *hovercraft*. Analisis pola aliran dan nilai tekanan yang terdapat di dalam *bag cushion* dilakukan agar didapatkan desain *bag* dan *cushion* yang optimal sesuai dengan kapasitas *fan* yang digunakan.

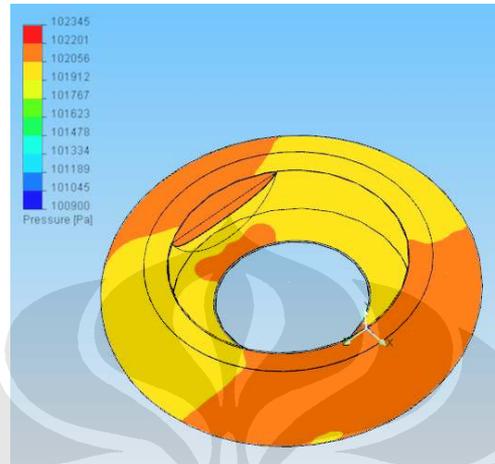
Mengacu pada spesifikasi awal *hovercraft*, diketahui bahwa *hovercraft* menggunakan *axial fan* dengan tekanan statis maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 735.5 Pa. Proses simulasi dilakukan dengan mengasumsikan bahwa tekanan statis tersebut diberikan seluruhnya pada bagian *bag skirt hovercraft*. Dari simulasi, dilakukan evaluasi/ perbandingan terhadap kebutuhan tekanan minimum dari *cushion pressure* agar *hovercraft* dapat melayang di udara dengan nilai *cushion pressure* yang didapat dari simulasi.



Gambar 6.2 Distribusi aliran dan tekanan pada *bag skirt*

Dalam simulasi ini dikondisikan tekanan statik pada sisi inlet adalah 102060.5 Pa (dari tekanan *fan* 735.5 ditambah dengan tekanan atmosfer, 101325 Pa). Dari hasil

simulasi diatas, dapat dilihat bahwa aliran (*pressure inlet*) masuk melalui pembagi aliran (*splitter*). Disini aliran memiliki daerah tekanan yang paling tinggi, yaitu dengan nilai tekanan rata-rata 102165 Pa.

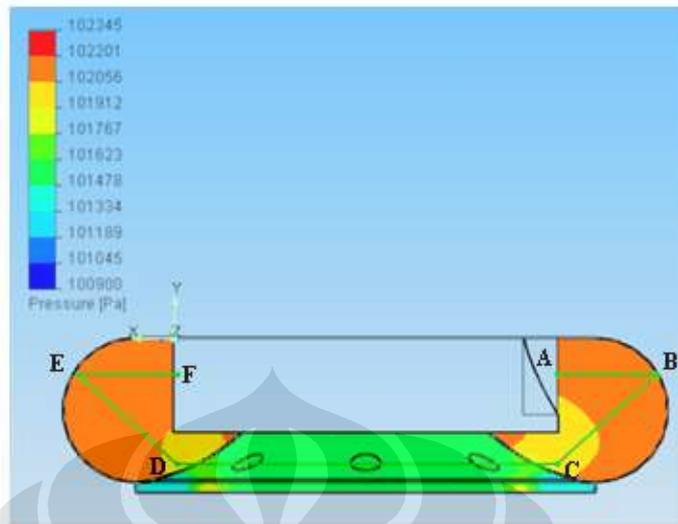


Gambar 6.3 Distribusi nilai tekanan ststis pada *bag*

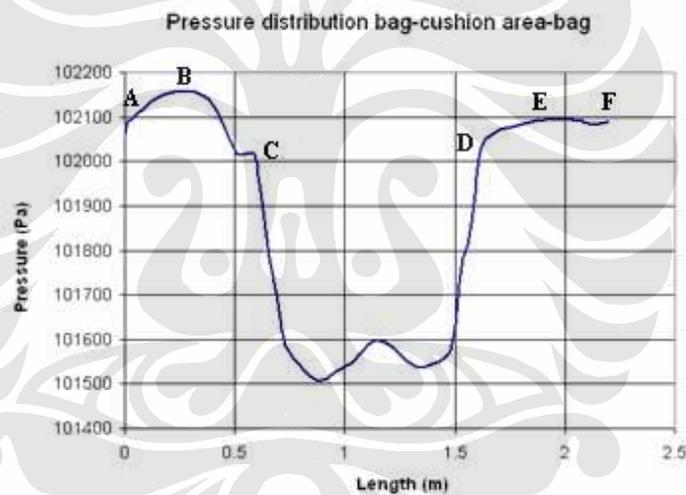
Tabel 6.1 Nilai tekanan statis maksimum dan rata-rata *bag skirt*

Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface area [m ²]
Pressure [Pa]	101455	102165	102053		4.85627
Temperature (fluid) [K]	293.214	293.308	293.284		4.85627
Density [kg/m ³]	1.20522	1.21346	1.21213		4.85627
Total Pressure [Pa]	101455	102165	102053		4.85627
Dynamic Pressure [Pa]	0	0	0		4.85627
Velocity [m/s]	0	0	0		4.85627
X-component of Velocity [m/s]	0	0	0		4.85627
Y-component of Velocity [m/s]	0	0	0		4.85627
Z-component of Velocity [m/s]	0	0	0		4.85627
Mach Number []	0	0	0		4.85627
Turbulent Viscosity [Pa*s]	4.51E-05	0.0260676	0.00676859		4.85627
Turbulent Time [s]	0.00448825	0.208248	0.0326024		4.85627
Turbulent Length [m]	0.000502901	0.0127935	0.00692466		4.85627
Turbulent Intensity [%]	1000	1000	1000		4.85627
Turbulent Energy [J/kg]	0.00971911	45.4244	2.31864		4.85627
Turbulent Dissipation [W/kg]	0.0466709	8872.22	126.362		4.85627
Heat Transfer Coefficient [w/m ² K]	0	0	0		4.90031
Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		4.90031
X-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		4.90031
Y-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		4.90031
Z-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		4.90031
Air Mass Fraction []	1	1	1		4.85627
Air Volume Fraction []	1	1	1		4.85627

Tekanan statik rata-rata pada bagian *bag* adalah sebesar 102053 Pa (B). Jika dilakukan plotting nilai *pressure drop* yang terjadi pada saat fluida mengalir masuk ke *bag*, lubang (*nozzel*) kemudian masuk ke *cushion area*, maka didapat nilai sebagai berikut :



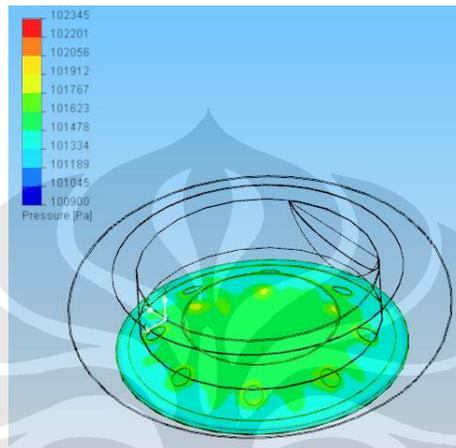
Gambar 6.4 Plotting distribusi tekanan dari *bag-cushion area-bag*



Gambar 6.5 Plotting *pressure drop* dari *bag* ke *cushion area*

Setelah itu aliran udara terbagi ke sisi kiri dan kanan *bag* yang disertai dengan dan turbulensi aliran. Turbulensi aliran terjadi pada saat aliran udara masuk menyentuh dinding dari *skirt* yang sekaligus menimbulkan kenaikan nilai tekanan statis di *bag*. Aliran udara mengalir menjauhi sisi inlet *bag* ke area depan *bag* dan penurunan nilai tekanan terjadi saat aliran menjauhi sisi inlet ini. Aliran dari sisi kiri dan kanan bertemu pada satu titik pertemuan (di area depan *bag*) yang disertai dengan kenaikan nilai tekanannya. Disini nilai tekanan udara lebih besar dari tekanan di area

tengah *bag*, namun lebih kecil dari tekanan di sisi belakang *bag*, seperti yang ditunjukkan oleh grafik distribusi tekanan diatas. Pada saat yang bersamaan udara juga mengalir melalui lubang-lubang yang terdapat pada skirt menuju *cushion area*. Tekanan yang tinggi pada *bag* berfungsi untuk menjaga agar *supply* udara yang mengalir ke *cushion area* tetap ada dan konstan



Gambar 6.6 Kontur *cushion pressure*

Tabel 6.2 Nilai tekanan ststis rata-rata *cushion area*

Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface area [m ²]
Pressure [Pa]	101229	101914	101470	101325	1.99192
Temperature (fluid) [K]	293.082	293.336	293.272	293.145	1.99192
Density [kg/m ³]	1.20239	1.21084	1.20539	1.20393	1.99192
Total Pressure [Pa]	101229	101914	101481	101510	1.99192
Dynamic Pressure [Pa]	0	288.66	11.5005	184.503	1.99192
Velocity [m/s]	0	21.8955	1.10269	17.3801	1.99192
X-component of Velocity [m/s]	-18.8698	18.0032	0.0754284	1.35831	1.99192
Y-component of Velocity [m/s]	-2.11975	0.463502	-0.0722293	-0.980893	1.99192
Z-component of Velocity [m/s]	-21.7484	21.8001	-0.00467526	-0.0667762	1.99192
Mach Number []	0	0.0638176	0.00321355	0.0506509	1.99192
Turbulent Viscosity [Pa*s]	0.00302956	0.0260676	0.0101245	0.00827	1.99192
Turbulent Time [s]	0.00314896	0.0234051	0.00725096	0.00746064	1.99192
Turbulent Length [m]	0.00291271	0.00617603	0.00406085	0.00389595	1.99192
Turbulent Intensity [%]	10.8989	1000	936.264	15.3848	1.99192
Turbulent Energy [J/kg]	1.2788	61.3236	15.8468	10.5005	1.99192
Turbulent Dissipation [W/kg]	56.2774	18120.3	2988.34	1466.56	1.99192
Heat Transfer Coefficient [w/m ² K]	0	0	0		1.87092
Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		1.87092
X-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		1.87092
Y-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		1.87092
Z-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		1.87092
Mass Flux [kg/(s*m ²)]	-25.4038	-1.64633	-11.9969	-15.402	0.130644
Air Mass Fraction []	1	1	1	1	1.99192
Air Volume Fraction []	1	1	1	1	1.99192

Tekanan statik rata-rata *cushion area* adalah 101470 Pa. Nilai tekanan statik di *plenum (cushion area)* sebesar 101470 Pa sedikit lebih besar dari tekanan atmosfer (uadara luar, 101325) dan menghasilkan gaya angkat (*lift force*) sebesar :

$$F = (P_c - P_{atm}) \times a_c$$

$$\begin{aligned}
&= (101470 - 101325) \times 1.1304 \\
&= 145 \times 1.1304 \\
&= 163.90 \text{ N}
\end{aligned}$$

Atau hanya mampu memberikan gaya angkat untuk beban sebesar :

$$\begin{aligned}
m &= F/g \\
&= (163.90 \text{ kg.m/s}^2) / (9.8 \text{ m/s}^2) \\
&= 16.72 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Secara teoritis, nilai tekanan gaya angkat yang dihasilkan dari *hovercraft* sebesar 16.72 kg ini masih terlalu kecil bila dibandingkan dengan kapasitas operasional *hovercraft* yaitu 150 kg. Hal ini disebabkan oleh nilai *pressure drop* dari *bag* ke *cushion* yang sangat besar, sehingga tekanan yang sampai pada *cushion area* menjadi sangat kecil. Nilai *pressure drop* yang terjadi dari *bag* ke *cushion area* adalah sebesar $102060.5 - 101470 \text{ Pa} = 590.5 \text{ Pa}$.

Bila dibandingkan dengan kebutuhan minimum operasional *hovercraft* yang membutuhkan nilai *cushion pressure* minimal adalah sebesar

$$P_c = \frac{150 \times 9.8}{1.08377} = 1356.37 \text{ Pa}$$

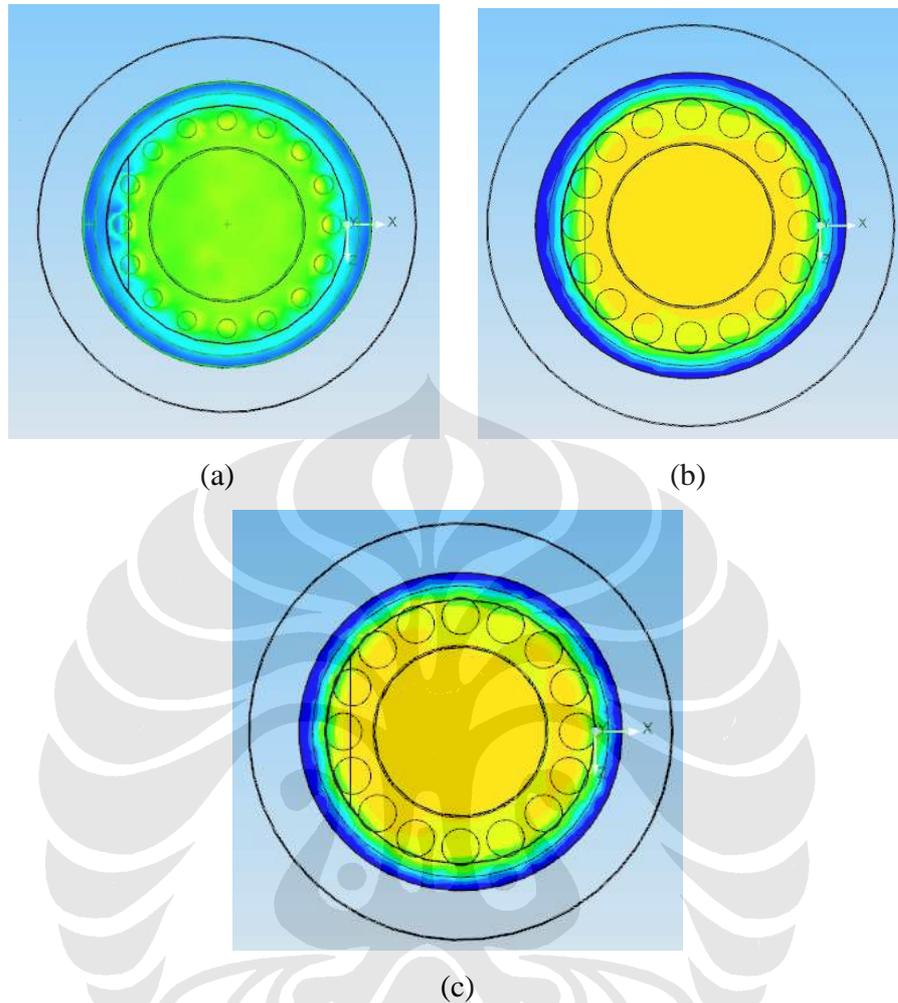
Maka nilai tambahan tekanan yang dibutuhkan dari *fan* adalah sebesar $1356.37(101470 - 101325) = 1211.37 \text{ Pa}$.

2. Desain *bag skirt* dengan variasi 16 buah *transfer hole*, diameter 80, 100 dan 120 mm

Berangkat dari simulasi pertama, disimpulkan bahwa desain *transfer hole* yang digunakan pada *bag skirt* adalah kurang optimal. Hal ini diindikasikan dengan besarnya nilai *pressure drop* yang terjadi dari *bag* ke *cushion area*. Untuk itu, proses modifikasi dilakukan untuk melihat efek penambahan jumlah *transfer hole* dan perbesaran ukuran diameter *transfer hole* tersebut tanpa merubah jari-jari *bag*.

Percobaan dilakukan dengan satu variasi jumlah (16 *transfer hole*) dan 3 variasi ukuran diameter (80, 100, 120 mm) untuk melihat pengaruhnya terhadap nilai tekanan *cushion*.

Dari percobaan didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 6.7 variasi diameter transfer hole

Dari kontur yang dihasilkan masing-masing variasi, dapat dilihat bahwa kecenderungan yang didapat bila *transfer hole* diperbesar adalah pada nilai tekanan di *cushion* yang lebih besar. Jika direpresentasikan ke dalam grafik, maka hubungan antara variasi diameter dengan nilai tekanan *cushion* yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

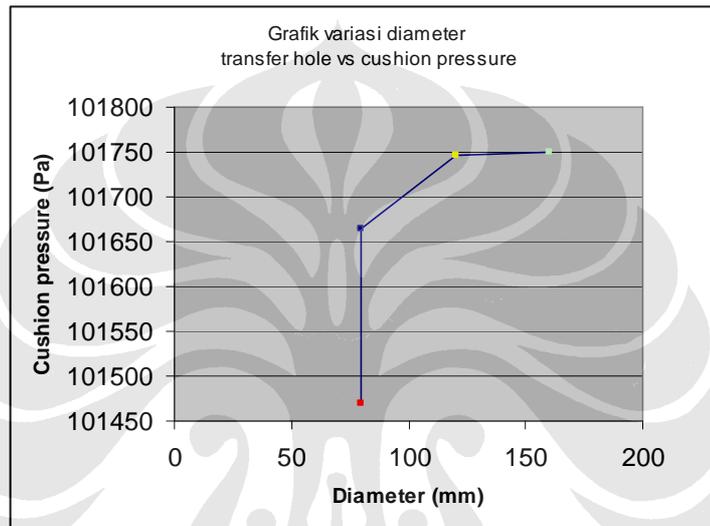
Tabel 6.3 Hasil simulasi variasi diameter *transfer hole*

No	Variasi diameter lubang (mm)	Pc (Pa)	Gaya Angkat, F (N)	Kapasitas angkat (kg)
1	80	101664	367.39803	37.4895949
2	120	101747	457.35094	46.66846327
3	160	101750	460.60225	47.00022959

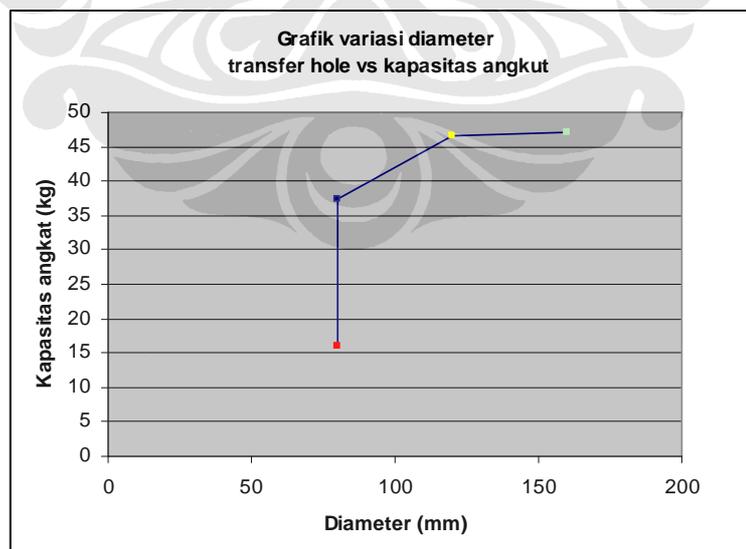
Tabel 6.4 Debit aliran udara pada masing-masing variasi jumlah dan ukuran transfer hole

No	Variasi jumlah, diameter plenum transfer hole	Q
1	8,80	1.30185
2	16,100	1.91925
3	16,120	2.06284
4	16,140	1.9944

Bila dibandingkan dengan nilai simulasi pertama, maka nilai parameter-parameternya didapat grafik :



Gambar 6.8 Garfik variasi diameter *transfer hole* vs *cushion pressure*



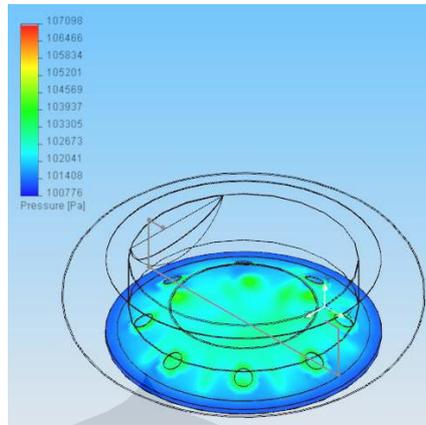
Gambar 6.9 Grafik variasi diameter *transfer hole* vs kapasitas angkut

Dari grafik dapat dilihat bahwa penambahan ukuran diameter *transfer hole* berdampak positif terhadap nilai gaya angkat yang dihasilkan. Titik merah adalah hasil simulasi 8 *transfer hole* dengan ukuran 80 mm dan ketiga titik lainnya adalah hasil 3 variasi diameter. Kapasitas angkut pada variasi *transfer hole* diameter 140 adalah yang paling besar di antara keempatnya, yaitu sebesar 47 kg. Namun demikian desain ini juga belum mampu untuk memenuhi kebutuhan daya angkut minimum *hovercraft* sebesar 150 kg.

6.1.2 Analisis performa sistem *bag skirt* dengan spesifikasi tekanan input 4363.52 Pa (105688.52 Pa)

Dari proses perhitungan awal didapat bahwa nilai *lift point*, yaitu nilai tekanan angkat minimum yang harus dihasilkan di *cushion area* adalah sebagai berikut : nilai *lift point* 1, 2 dan 3 masing-masing adalah sebesar 1299.76 Pa, 4363.52 Pa (disertai dengan *transfer hole losses*) dan 7694.89 Pa. Secara berurutan, nilai-nilai ini menunjukkan seberapa besar tekanan yang dibutuhkan oleh *hovercraft* untuk mulai mengangkat (namun tidak ada *hover gap*), mengambang di udara (disertai dengan *hover gap*) dan mengambang di udara (dengan *hovergap*, kondisi medan yang buruk).

Pada simulasi kali ini data inputan tekanan yang masuk ke dalam *bag* adalah sebesar nilai *lift point*-2, yaitu 4363.52 Pa (105688.52 Pa). Tujuan dari simulasi ini adalah untuk membuktikan antara kesesuaian kalkulasi awal dengan hasil simulasi desain awal dengan spesifikasi 8 buah *transfer hole* berdiameter 80 mm. Dari hasil simulasi didapat bahwa nilai *pressure drop* dari *bag* ke *cushion* adalah sebagai berikut :



Gambar 6.10 *Cushion pressure* pada *bag skirt* tekanan input 4363.52 Pa

Tabel 6.5 Nilai *cushion pressure bag skirt* tekanan input 4363.52 Pa

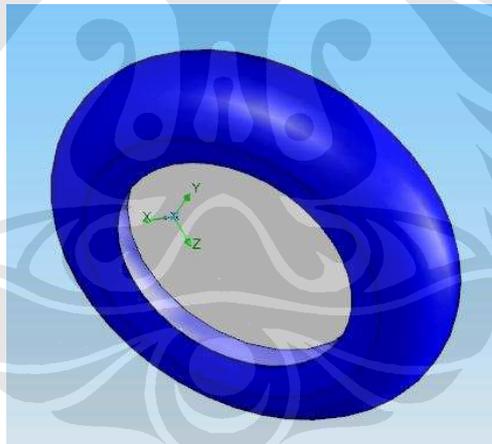
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface area [m ²]
Pressure [Pa]	101316	104828	102375		1.08377
Temperature (fluid) [K]	293.289	293.969	293.647		1.08377
Density [kg/m ³]	1.20302	1.24507	1.21631		1.08377
Total Pressure [Pa]	101316	104828	102375		1.08377
Dynamic Pressure [Pa]	0	0	0		1.08377
Velocity [m/s]	0	0	0		1.08377
X-component of Velocity [m/s]	0	0	0		1.08377
Y-component of Velocity [m/s]	0	0	0		1.08377
Z-component of Velocity [m/s]	0	0	0		1.08377
Mach Number []	0	0	0		1.08377
Turbulent Viscosity [Pa*s]	0.00762311	0.0375506	0.0232919		1.08377
Turbulent Time [s]	0.00130706	0.00633753	0.00221929		1.08377
Turbulent Length [m]	0.00344623	0.00344623	0.00344623		1.08377
Turbulent Intensity [%]	1000	1000	1000		1.08377
Turbulent Energy [J/kg]	10.9518	257.476	108.036		1.08377
Turbulent Dissipation [W/kg]	1728.08	196990	56985.5		1.08377
Heat Transfer Coefficient [w/m ² /K]	0	0	0		1.08377
Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		1.08377
X-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		1.08377
Y-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		1.08377
Z-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0		1.08377
Air Mass Fraction []	1	1	1		1.08377

Nilai tekanan statik rata-rata pada *cushion area* adalah sebesar 102375Pa (1050 Pa). Bila dibandingkan dengan perhitungan, yaitu nilai *cushion pressure* sebesar 1299.76 Pa, maka perbedfaan antara hasil perhitungan awal dan hasil simulasi adalah sebesar $(1299.76-1050)/1299.76 = 19.2 \%$. Hal ini juga merupakan acuan terhadap proses validasi simulasi *bag* tersebut, dimanan bila ingin mempertahankan disan awal *circular hovercraft*, maka konsekwensi yang hasrus dilakukan adalah kemampuan untuk menyediakan fasilitas *fan* sebagai sistem angkat yang mampu menyuplai tekanan hingga 4363 Pa. Namun dari penelusuran literatur *fan*, dapat

dikatakan bahwa spesifikasi *fan* tersebut tidak mungkin didapat dipasaran. Dan proses modifikasi lebih lanjut harus dilakukan.

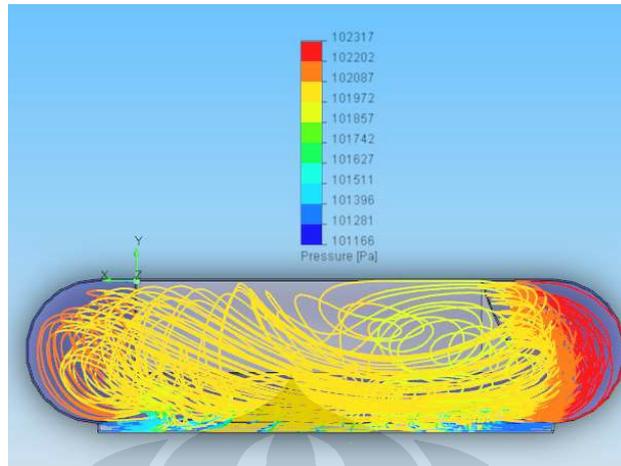
6.1.3 Analisis performa sistem pemotongan *transfer hole* pada *bag skirt*

Pada dasarnya langkah modifikasi yang berupa pemotongan bagian *transfer hole* dilakukan atas dasar bahwa dari simulasi satu dan dua, elemen ini memberikan efek *pressure drop* yang besar dari bagian *bag* ke *cushion area*. Disamping itu, pemotongan bagian *bag skirt* juga dilakukan sebagai langkah analisis terhadap percobaan asli yang dilakukan pada *hovercraft* tersebut. Dari hasil pengamatan dan pengujian di lapangan, didapat bahwa spesifikasi desain ini telah menunjukkan kemampuan memberikan performa gaya angkat (*lift force*) pada *hovercraft*, namun belum maksimal ketika *hovercraft* diberikan beban penumpang. Pemotongan parameter *transfer hole* dilakukan tepat pada area batas luar lubang, seperti gambar berikut ini :

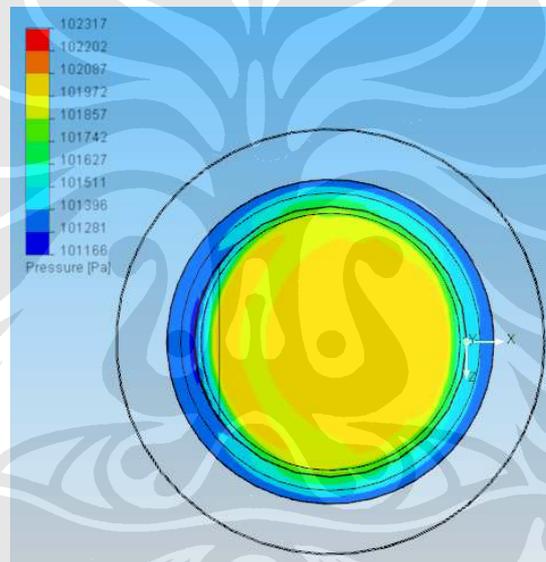


Gambar 6.11 Modifikasi *cutting transfer hole* pada *bag*

Dari hasil simulasi didapat bahwa distribusi tekanan di bagian *bag* dan *cushion* adalah sebagai berikut :



Gambar 6.12 Distribusi tekanan model *cutting transfer hole* pada area bag



Gambar 6.13 Distribusi *cushion pressure* modifikasi *cutting transfer hole*

Dalam simulasi ini dikondisikan tekanan statik pada sisi inlet adalah 735.5 Pa. Nilai tekanan maksimum masuk ke *bag* adalah sebesar 102317 Pa. Nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan nilai tekanan maksimum pada *bag* asli yang hanya 102165 Pa.

Nilai tekanan statik rata-rata pada bagian bag adalah 102060 Pa, lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai tekanan statik *bag* asli yang sebesar 102053.

Tabel 6.6 Nilai *cushion pressure* modifikasi *cutting transfer hole*

Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface area [m ²]
Pressure [Pa]	101166	102113	101674	101325	1.59174
Temperature (fluid) [K]	292.914	293.469	293.375	293.063	1.59174
Density [kg/m ³]	1.20132	1.21214	1.20758	1.20427	1.59174
Total Pressure [Pa]	101166	102113	101708	101782	1.59174
Dynamic Pressure [Pa]	0	635.542	33.4388	455.881	1.59174
Velocity [m/s]	0	32.4792	2.09133	27.275	1.59174
X-component of Velocity [m/s]	-20.6944	25.2695	0.203775	3.29302	1.59174
Y-component of Velocity [m/s]	-2.61191	0.305868	-0.0627016	-0.99653	1.59174
Z-component of Velocity [m/s]	-32.1798	31.5504	-0.00214676	-0.0116796	1.59174
Mach Number []	0	0.0946931	0.00609542	0.0795001	1.59174
Turbulent Viscosity [Pa*s]	0.00258395	0.0246019	0.0103193	0.0113857	1.59174
Turbulent Time [s]	0.00311631	0.0185465	0.00664901	0.00552544	1.59174
Turbulent Length [m]	0.00290908	0.00603953	0.00373528	0.00389104	1.59174
Turbulent Intensity [%]	6.91149	1000	920.196	13.8837	1.59174
Turbulent Energy [J/kg]	1.27879	64.8196	19.2018	20.3774	1.59174
Turbulent Dissipation [W/kg]	68.9505	18547.9	4193.99	4082.28	1.59174
Heat Transfer Coefficient [w/m ² K]	0	0	0	0	1.46493
Heat Flux [W/m ²]	0	0	0	0	1.46493
X-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0	0	1.46493
Y-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0	0	1.46493
Z-component of Heat Flux [W/m ²]	0	0	0	0	1.46493
Mass Flux [kg/(s*m ²)]	-37.7144	-3.12874	-18.8416	-24.3579	0.130644
Air Mass Fraction []	1	1	1	1	1.59174
Air Volume Fraction []	1	1	1	1	1.59174

Tabel 6.7 Debit aliran udara dari *cushion area* ke lingkungan pada variasi *cutting bag*

No	Variasi	Q
1	Cutting transfer hole	2.04401

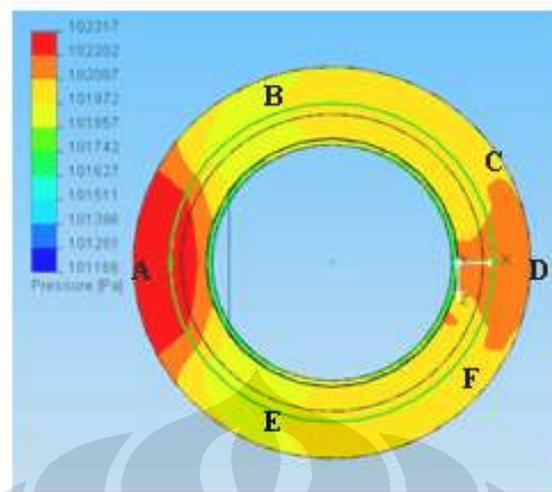
Tekanan statik *cushion* adalah 101674 Pa (349 Pa), nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan nilai tekanan statik *plenum* di desain asli yang hanya sebesar 101470 Pa. Nilai ini sedikit lebih besar, yaitu dengan selisih 204 Pa. Dan menghasilkan gaya angkat sebesar :

$$\begin{aligned}
 F &= P_c \times a_c \\
 &= 349 \times 1.1304 \\
 &= 394.51 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Atau hanya mampu memberikan gaya angkat untuk beban sebesar :

$$\begin{aligned}
 m &= F/g \\
 &= (230.6) / (9.8 \text{ m/s}^2) \\
 &= 40.25 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jika dilakukan plotting nilai *pressure drop* yang terjadi pada saat fluida mengalir melewati pembagi aliran, masuk ke *bag*, lubang (*nozzel*) kemudian masuk ke *cushion area*, maka didapat nilai sebagai berikut :



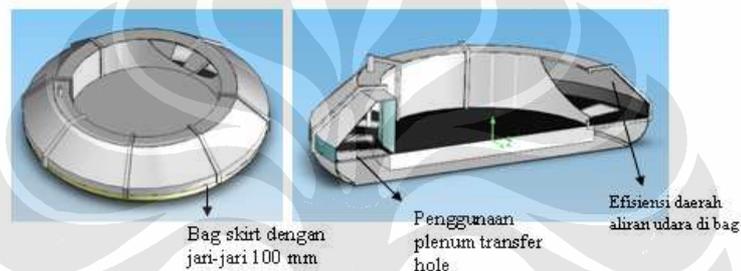
Gambar 6.14 Plotting nilai distribusi tekanan modifikasi *cutting transfer hole*

Dari grafik didapat bahwa nilai tekanan pada satu titik sisi masuk *bag* (A) adalah sebesar 102210 Pa, di titik B, E adalah sebesar 101950 Pa dan di titik C,F adalah 102050 Pa, titik D,G (102125 Pa). Dari sini dapat dianalisis bahwa perbedaan yang besar antara titik di dalam *bag*, yaitu titik A dan B sebesar 260 Pa menyebabkan ketidakstabilan gaya angkat di setiap titik di *bag*. Perbedaan yang besar antara kedua titik ini dapat menyebabkan *hovercraft* cenderung memiliki gaya angkat yang lebih besar di sisi belakang *bag*, sedangkan gaya angkat di sisi depan bagnya kecil. Pada desain pertama, meskipun tidak memberikan gaya angkat, namun perbedaan tekanan di *bag*-nya cenderung kecil dan stabil (akibat pengaruh lubang). Untuk itulah maka meskipun desain ini telah dapat meningkatkan kapasitas angkat menjadi 40.25 kg, namun beda tekanan yang tinggi pada desain kedua ini dinilai menghambat *hovercraft* dalam bergerak, dan stabilitas *hovercraft*, sehingga desain ini juga kurang efektif untuk digunakan dalam aplikasi *hovercraft* yang ada.

6.1.4 Analisis pengurangan ukuran dimensi *bag skirt* (jari-jari *bag*) dan penambahan *plenum chamber* pada *hull hovercraft*, serta variasi ukuran dan jumlah *plenum transfer hole* yang terdapat pada *hull*

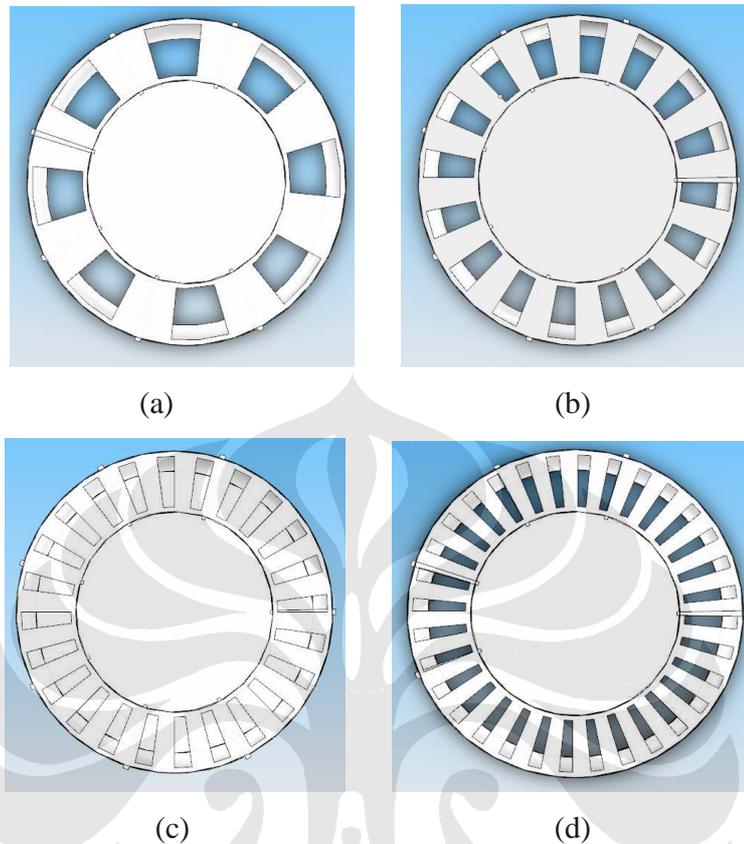
Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi satu, dua dan tiga maka dapat disimpulkan bahwa masing-masing desain memiliki karakteristik sendiri-sendiri.

Keunggulan dari pemotongan *transfer hole* adalah pada nilai tekanan *cushion* yang tinggi bila dibandingkan dengan model original, sedangkan kelemahannya adalah pada ketidakstabilan *hovercraft* pada saat melayang diudara (seperti yang telah dijelaskan diatas). Disisi lain, desain asli *circular hovercraft* yang menggunakan *transfer hole* memiliki kelebihan yang stabil pada saat *hovercraft* mengambang, namun kelemahannya adalah tekan *cushion* yang sangat kecil. Untuk itu diambil langkah alternatif desain final dengan menggabungkan kedua keuntungan tersebut, yaitu dengan menambahkan desain *transfer hole* pada hull dan pengurangan diameter *bag* yang digunakan, seperti pada skema gambar dibawah ini :



Gambar 6.15 Desain desain *transfer hole* pada hull dan pengurangan diameter *bag*

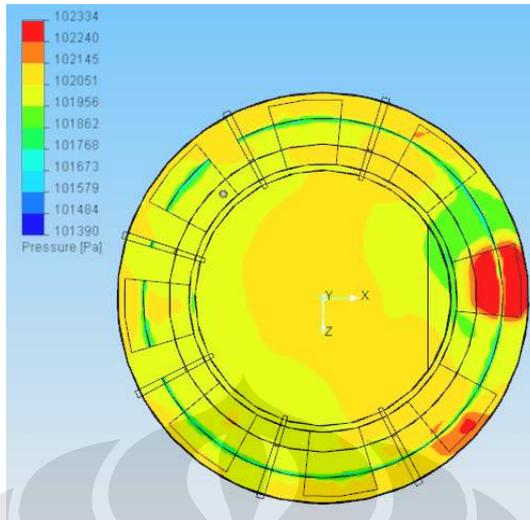
Sebagai referensi, bentuk *skirt* yang tidak menggunakan *transfer hole* juga mengacu pada desain *wall skirt* yang telah dipublikasikan sebelumnya. Pada simulasi ini, variasi dilakukan terhadap diameter *cushion*, yaitu sebesar 1.6 m dari diameter sebelumnya adalah 1.2 m, dengan asumsi beban total *hovercraft* adalah 155 kg maka nilai tekanan *cushion* yang harus disupply ke *cushion area* adalah sebesar 916.79 Pa (dari perhitungan BAB III). Dengan mengacu pada spesifikasi pemilihan *mixed flow fan* (referensi)[5], supply tekanan maksimum *fan* tersebut dapat mencapai nilai 1200 Pa lebih maka diharapkan bahwa desain final ini mampu memberikan nilai *pressure drop* kurang dari $1200 - 755.87 \text{ Pa} = 444.13 \text{ Pa}$. Berikut adalah skema variasi desain yang dibuat :



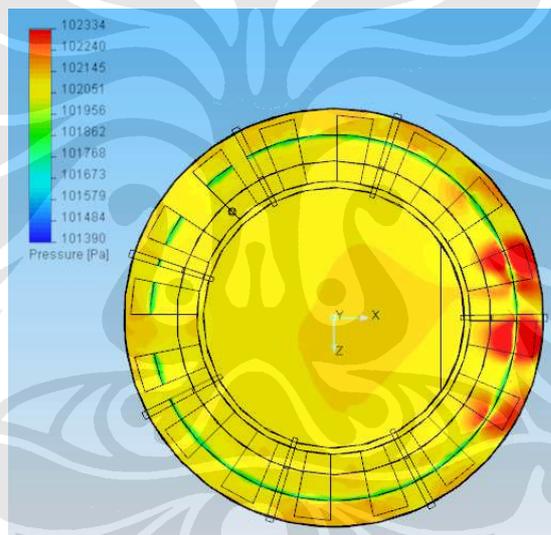
Gambar 6.16 Variasi jumlah plenum transfer hole (a) 8 transfer hole, (b) 16 transfer hole, (c) 24 transfer hole, (d) 32 transfer hole

Simulasi dilakukan dengan memberikan inputan tekanan sebesar 900 Pa (mengacu pada spesifikasi *mixed flow fan*)[5], nilai ini masih dibawah kapasitas *mixed flow fan*. Hal ini dilakukan dengan asumsi bahwa nilai sisa tekanan yang dihasilkan oleh *fan* sebesar 300 Pa (1200-900 Pa) digunakan untuk kebutuhan manuver *hovrcraft* Dari simulasi akan dilihat apakah desain final sistem ini mampu memenuhi kriteria tekanan *cushion* diatas. Hasil simulasi aliran udara yang melewati *hull* dan *bag skirt* adalah sebagai berikut :

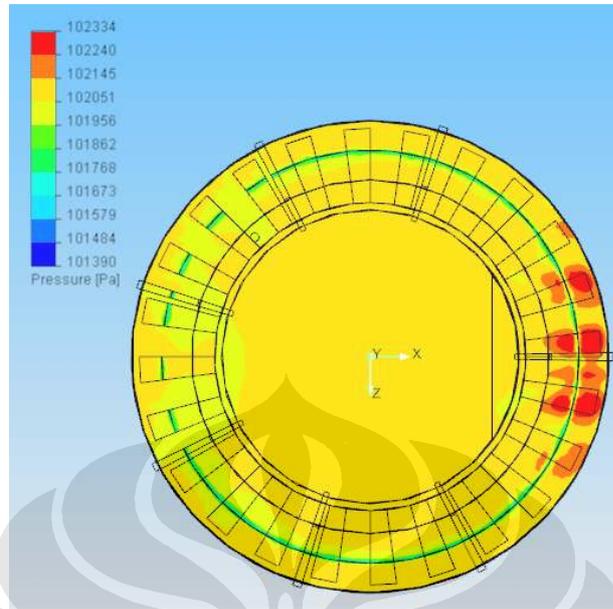
Distribusi tekanan pada *cushion area* :



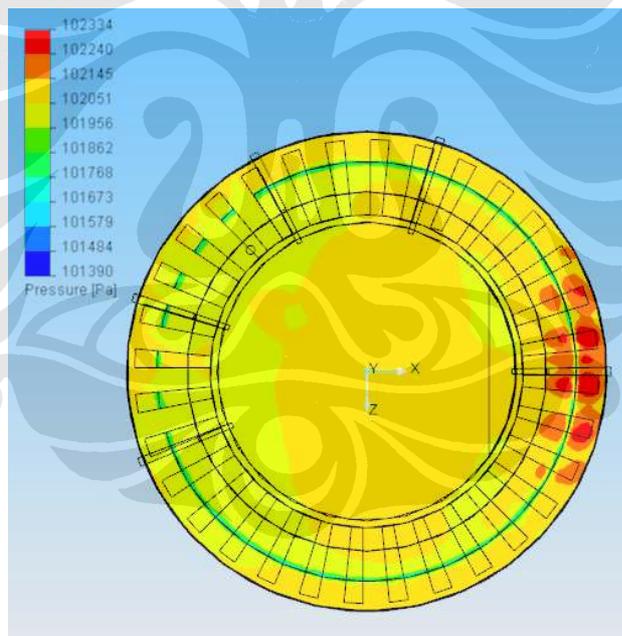
Gambar 6.17 Distribusi *cushion pressure*, variasi jumlah *plenum transfer hole* 8



Gambar 6.18 Distribusi *cushion pressure*, variasi jumlah *plenum transfer hole* 16

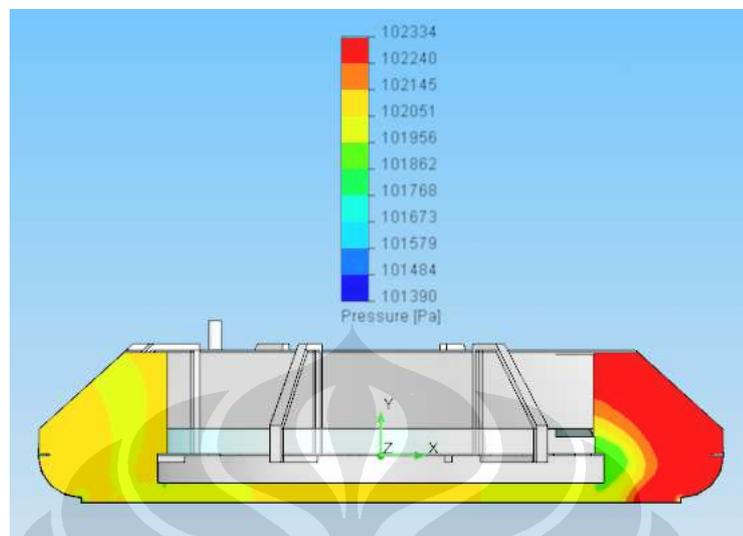


Gambar 6.19 Distribusi *cushion pressure*, variasi jumlah plenum transfer hole 24

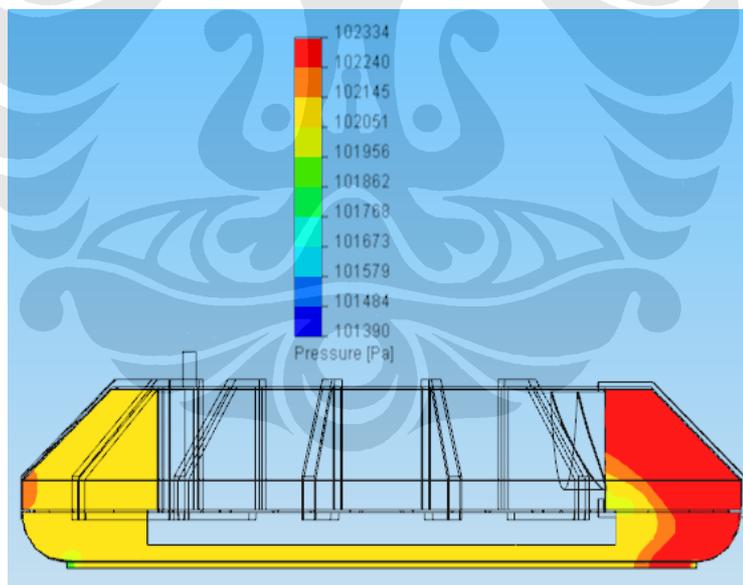


Gambar 6.20 Distribusi *cushion pressure*, variasi jumlah plenum transfer hole 32

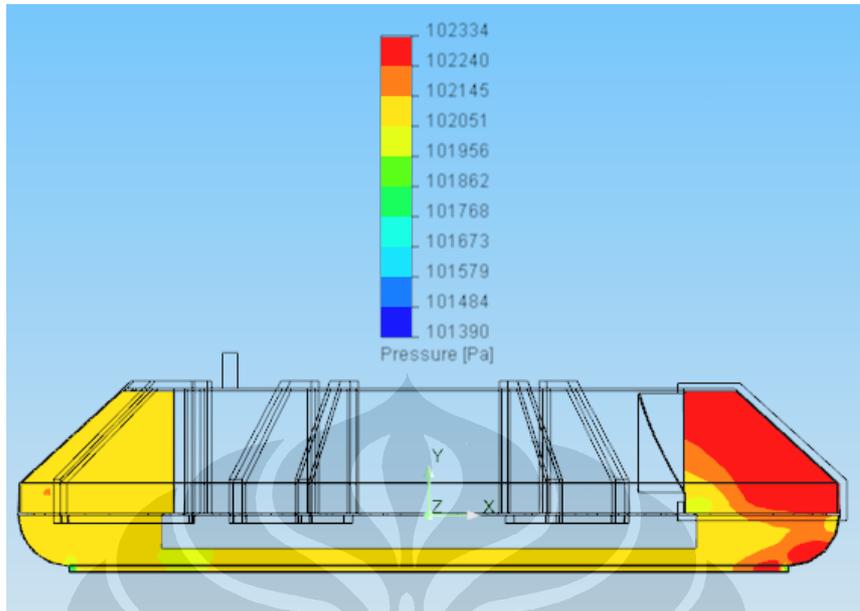
Distribusi tekanan dari bag ke cushion area



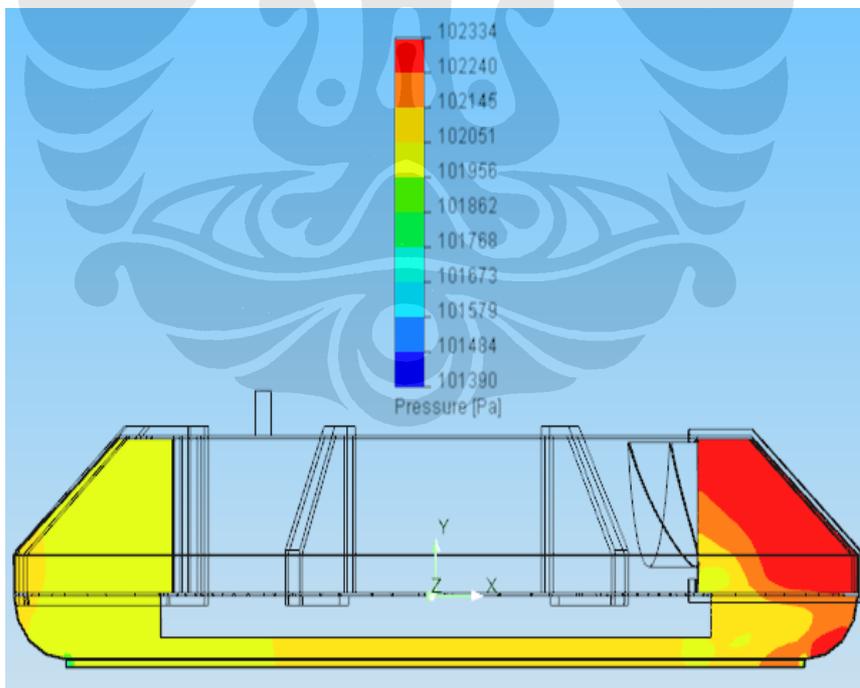
Gambar 6.21 Distribusi tekanan dari *bag* ke *cushion area*, variasi jumlah *plenum transfer hole 8*



Gambar 6.22 Distribusi tekanan dari *bag* ke *cushion area*, variasi jumlah *plenum transfer hole 16*

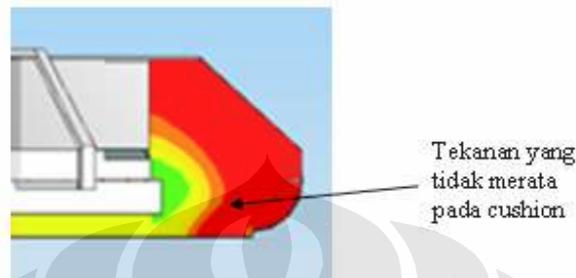


Gambar 6.23 Distribusi tekanan dari *bag* ke *cushion area*, variasi jumlah plenum transfer hole 24



Gambar 6.24 Distribusi tekanan dari *bag* ke *cushion area*, variasi jumlah plenum transfer hole 32

Jika ditinjau dari distribusi tekanan pada *bag* ke *cushion area*, variasi desain-2,3 dan 4 cenderung stabil, namun variasi desain-1 (jumlah lubang-8) cenderung tidak stabil. Hal ini dapat dilihat dari kontur tekanan maksimum seperti gambar dibawah ini :



Gambar 6.25 Tekanan pada variasi desain-1

Distribusi tekanan dari *bag* ke *cushion area*, variasi jumlah *plenum transfer hole* 32

Dari hasil simulasi diatas didapat data nilai *cushion pressure* dan nilai *pressure drop*-nya adalah sebagai berikut :

Tabel 6.8 Nilai *cushion pressure*, *pressure drop*, gaya angkat dan kapasitas angkat

No	Variasi jumlah lubang	Pc (Pa)	Pressure drop	Gaya Angkat, F (N)	Kapasitas angkat (kg)
1	8	102030	195	1416.768	144.5681633
2	16	102089	136	1535.3344	156.6667755
3	24	102050	175	1456.96	148.6693878
4	32	102041	184	1438.8736	146.8238367

Pc adalah tekanan pada *cushion area*, *pressure drop* dihitung dari tekanan masuk 102225 Pa dikurangi dengan nilai *tekanan cushion* pada masing-masing variasi.

Tabel 6.9 Debit aliran udara pada masing-masing variasi desain

No	Variasi jumlah plenum transfer hole	Q
1	8	1.92302
2	16	1.85548
3	24	1.71116
4	32	1.72609

Dari tabel hasil simulasi didapat bahwa desain yang paling optimal dipilih dengan kriteria tekanan *cushion* yang paling tinggi, yaitu pada variasi jumlah lubang

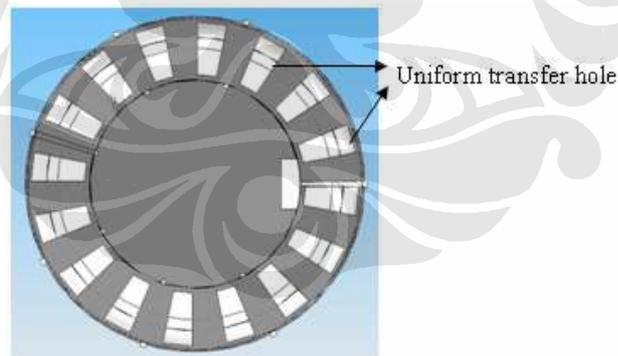
16. dengan tekanan masuk sebesar 102225 Pa, dengan debit 1.855 m³/s desain ini mampu memberikan tekanan *bag* yang paling minimum, yaitu sebesar 136 Pa dan mampu untuk memenuhi kriteria desain kapasitas hovercraft sebesar 155 kg.

6.1.5 Analisis desain non-uniform plenum transfer

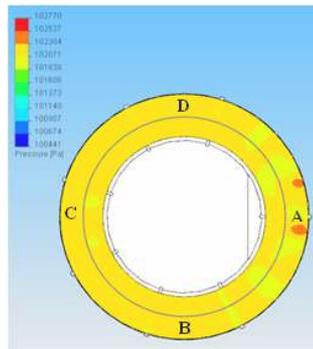
Keseimbangan adalah issue yang paling penting dalam hovercraft. Parameter kesetimbangan dalam hovercraft ditentukan oleh nilai distribusi tekanan pada *cushion area*. Dari hasil simulasi final dapat dilihat bahwa desain *bag skirt* telah dapat memenuhi tekanan *cushion* minimum, yaitu sebesar 755.35 Pa. Meskipun desain final telah dapat memenuhi tekanan *cushion* minimum, namun distribusi tekanan pada beberapa titik di *cushion area* masih belum seragam.

Hal ini dapat menimbulkan instabilitas pada saat *hovercraft* beroperasi. Proses modifikasi dilakukan dengan menggunakan konfigurasi ukuran yang tidak seragam dari *transfer hole* (non-uniform transfer holes). Penggunaan jenis konfigurasi ini secara langsung berkorelasi dengan pengaturan besarnya nilai tekanan pada masing-masing titik di *cushion*.

Berikut adalah desain awal *transfer hole* yang didapat dari simulasi-3. Jenis ini adalah jenis *transfer hole* seragam, dimana tekanan *cushion* adalah tidak merata.

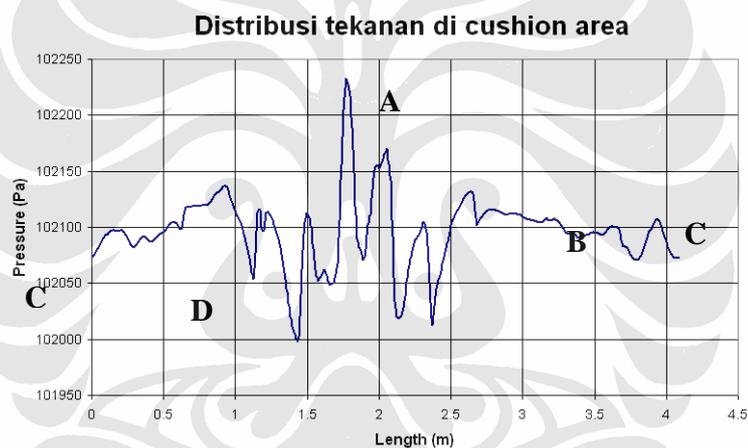


Gambar 6.26 uniform transfer holes



Gambar 6.27 Distribusi Tekanan pada cushion area

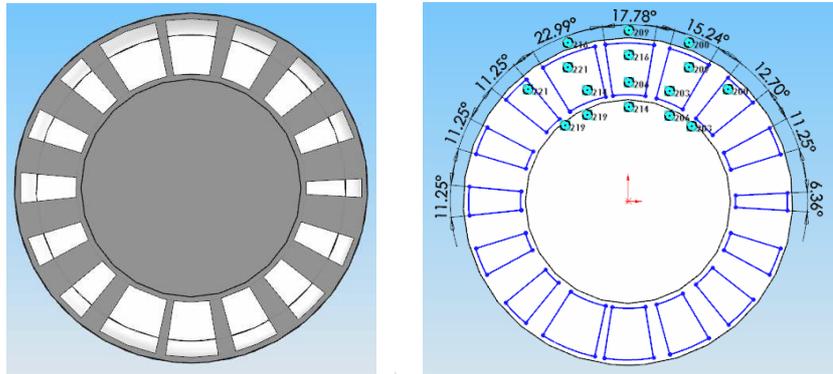
Dari hasil simulasi, bila dilakukan plotting sepanjang garis melingkar diatas maka didapat grafik berikut :



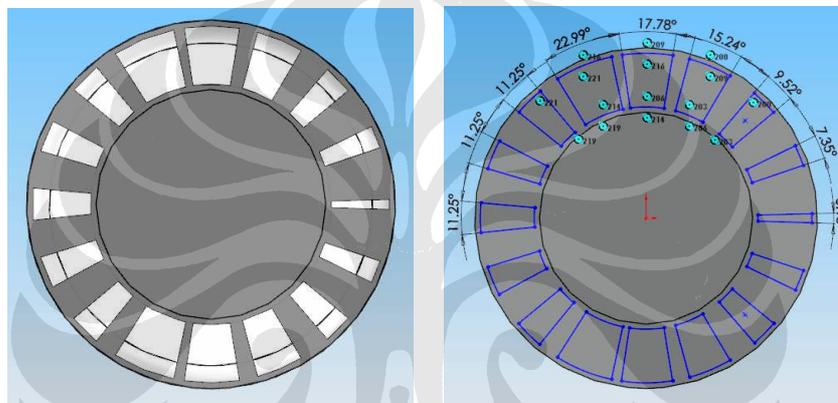
Gambar 6.28 Grafik distribusi tekanan di cushion area

Dari grafik dapat dilihat bahwa trend tekanan ststik yang terjadi adalah bahwa tekanan paling besar terdapat pada titik A, dimana titik tersebut adalah titik inlet, diikuti oleh titik B dan D, dimana titik tersebut terdapat di tengah *bag*, dan terakhir adalah titik-C yang terdapat di depan bag skirt.

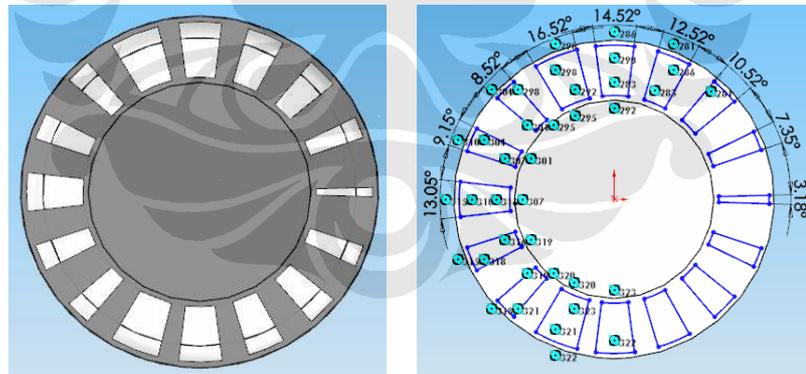
Untuk mendapatkan nilai tekanan *cushion* yang seragam, maka perlu dilakukan proses modifikasi yang berupa pengaturan luas area dari masing-masing *transfer hole*. Beberapa variasi yang dilakukan adalah :



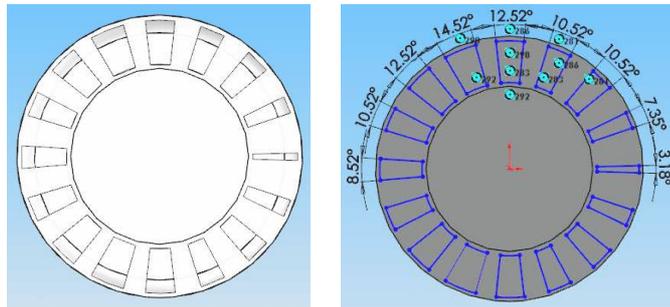
(a) Gambar variasi-1



(b) Gambar variasi-2



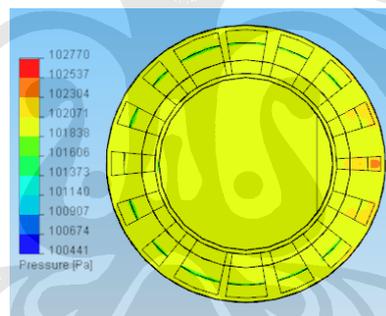
(c) Gambar variasi-3



(d) Gambar variasi-4

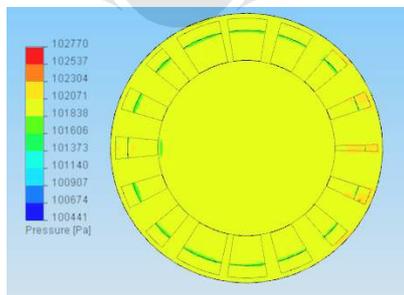
Gambar 6.29 (a) Variasi-1, (b) Variasi-2, (c) Variasi-3, (d) Variasi-4

Variasi-1 dilakukan dengan menggunakan luas area yang paling kecil pada *transfer hole* di sisi inlet dan semakin membesar sampai sisi tengah *skirt*, dari posisi ini, setelah ukuran luas area dibuat sama hingga sampai ke area depan *bag skirt*. Berikut adalah kontur tekanan statis pada *cushion area* :

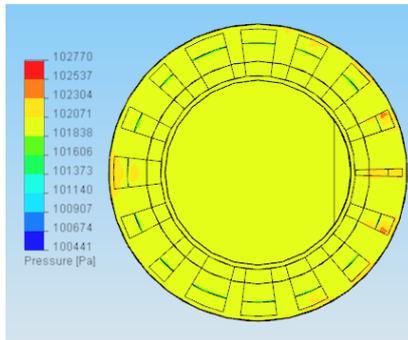


Gambar 6.30 Distribusi tekanan pada *cushion area* variasi-1

Variasi-2 dengan memperkecil ukuran *transfer hole* didekat sisi inlet, seperti gambar dibawah ini

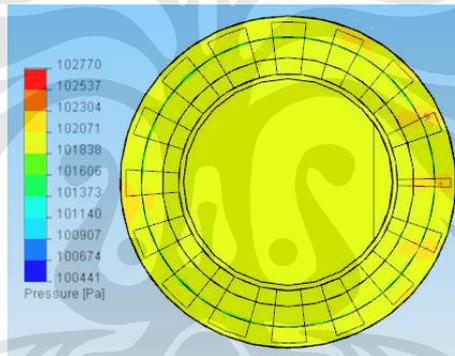


Gambar 6.31 Distribusi tekanan pada *cushion area* variasi-2



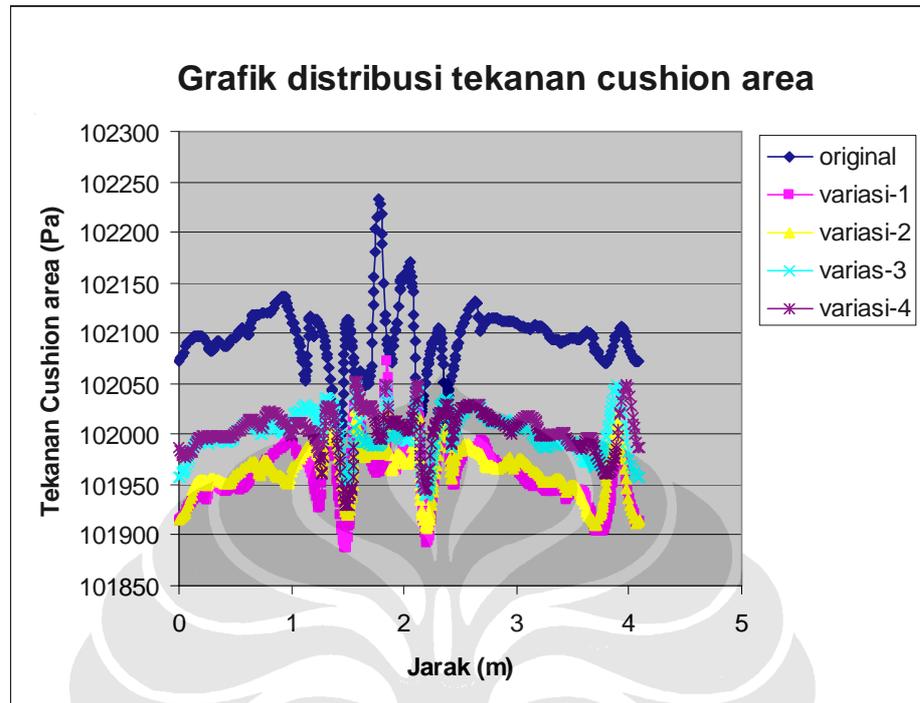
Gambar 6.32 Distribusi tekanan pada *cushion area* variasi-3

Desain variasi-4 menggunakan ukuran *transfer hole* didekat sisi inlet adalah sama dengan *transfer hole* variasi-3, namun ukuran *transfer hole* disisi tengah diperkecil dan ukuran *transfer hole* di sisi depan *bag skirt* diperbesar.



Gambar 6.33 Distribusi tekanan pada *cushion area* variasi-4

Bila dilakukan plot mengikuti bentuk lingkaran seperti pada desain original, maka didapat masing-masing distribusi tekanan *cushion* adalah sebagai berikut :



Gambar 6.34 Grafik distribusi tekanan di *cushion area*

Dari grafik dapat dilihat bahwa model variasi-4 adalah model yang paling optimal, dimana nilai tekanan *cushion* yang dihasilkan adalah seragam dan nilai *cushion pressure* rata-rata yang besar. Jika dilihat dari tabel, masing-masing nilai tekanan *cushion* adalah sebagai berikut :

Tabel 6.10 Nilai tekanan *cushion* pada masing-masing variasi desain

Variasi	Tekanan cushion rata-rata (Pa)
original	102089
1	101963
2	101962
3	101999
4	102000

Bila dilihat, maka desain variasi-4 adalah yang paling optimal, dimana tekanan *cushion*-nya adalah 102000 Pa (675 Pa) dan dengan nilai distribusi tekanan *cushion*-nya yang merata. Dari nilai tekanan *cushion* minimum adalah 755.87 pa (102080.87 Pa), nilai tekanan *cushion* pada variasi-4 masih membutuhkan sedikit supply tekanan tambahan dari *fan*, ayitusebesar 80.87 Pa atau dengan tekanan inlet bag adalah sebesar 900 Pa + 80.87 pa = 980.87 Pa.

6.2 DESAIN SISTEM *ROTARY PLATE* DAN STEREOFOAM UNTUK GAYA APUNG *HOVERCRAFT* (*BUOYANCY FORCE*)

6.2.1 Analisis parameter desain *rotary plate* dan elemen *stereofoam hovercraft*

Gaya apung (*bouyancy*) merupakan parameter yang berfungsi untuk menjaga hovercraft tetap berada pada keadaan mengapung walaupun *engine* tidak dioperasikan. Pada spesifikasi desain original, gaya apung (*buoyancy*) *hovercraft* tidak dipertimbangkan, sehingga hal ini menjadi kendala utama apabila *hovercraft* dioperasikan di wilayah perairan. Seperti pada skema dibawah ini, dapat dilihat bahwa desain batas ketinggian saluran *outlet fan* dari sisi alas hull sangat rendah sehingga dapat menyebabkan air masuk ke dalam plenum pada saat *hovercraft* dioprasikan dalam keadaan *engine* dimatikan.



Gambar 6.35 Desain original *circular hovercraft*

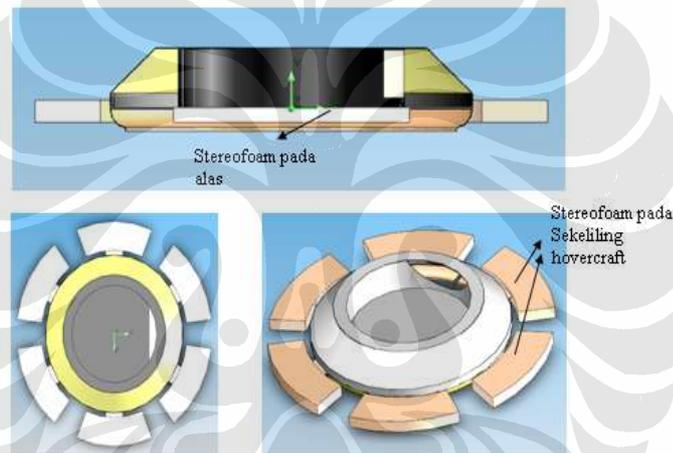
Pada modifikasi desain, efek *buoyancy* didapat dengan menggunakan sistem penutup *transfer hole* yang berbentuk sistem *rotary plate* dan ditunjang dengan penambahan elemen *stereofoam* pada sisi alas *hovercraft*. Sistem *rotary plate* didesain dengan menggunakan mekanisme plate di area alas *hovercraft* yang terhubung dengan tuas di sisi atas *hull* sehingga dapat digunakan sebagai alat untuk buka tutup *transfer hole*. Sistem ini berfungsi pada saat *hovercraft* dioperasikan di medan perairan, yaitu pada saat awal operasional *hovercraft* (*engine* dalam keadaan tidak dinyalakan), *transfer hole* dikondisikan dalam keadaan tertutup sehingga

plenum *hovercraft* kedap terhadap air. Setelah *engine* dinyalakan dan keadaan tekanan telah stabil, barulah *transfer hole* dibuka secara perlahan dengan bantuan sistem *rotary plate* tersebut.

Dalam kasus ini ada dua alternatif yang digunakan untuk penambahan elemen stereofom untuk membantu *hovercraft* mengapung

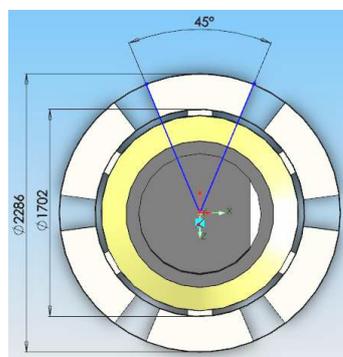
1. Konsep desain-1

Terdapat tiga konsep desain dalam penambahan elemen *stereofom* yang digunakan untuk membantu *hovercraft* agar tetap mengapung (pada saat *engine* mati). Konsep pertama adalah dengan melakukan penambahan elemen *stereofom* pada sisi alas *hovercraft* dan pada sekeliling luar *hovercraft* tersebut.



Gambar 6.36 Konsep desain-1

Dari persamaan *archimedes* didapat bahwa gaya apung pada suatu benda adalah sama dengan gaya yang bekerja pada volume benda tercelup, yaitu :



Gambar 6.37 Detail ukuran konsep desain-1

$$W = \rho g v_c$$

$$m_t g = \rho g v_c$$

$$v_c = \frac{m}{\rho}$$

Dimana :

W = berat total *hovercraft* (N)

m_t = massa total *hovercraft* (kg)

g = percepatan gravitasi (10 m/s²)

ρ = massa jenis air (1000 kg/m³)

v_c = volume benda tercelup (m³)

Penambahan elemen *stereof foam* dilakukan pada setiap variasi desain yang dibuat dan dari spesifikasi desain final, didapat bahwa nilai parameter-parameter elemen *stereof foam* yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

Spesifikasi desain *hovercraft*

$$m_t = 155 \text{ kg}$$

volume total *stereof foam*

$$v_c = \frac{155}{1000} = 0.155 \text{ m}^3$$

Dimensi *stereof foam* (lingkaran pada sisi bawah *plenum*)

$$r_{st1} = 0.522 \text{ m}$$

$$a_{st} = \pi r_{st}^2$$

$$a_{st} = \pi 0.522^2 = 0.855 \text{ m}^2$$

Bentuk *stereof foam* di sisi alas adalah berupa lingkaran dengan ketebalan adalah 55mm.

$$v_{st} = a_{st} \times t_{st}$$

$$v_{st} = 0.855 \times 0.065 = 0.0556 \text{ m}^3$$

Dengan jumlah *stereofom* disekeliling *hovercraft* adalah 6, besar sudut masing-masing adalah 45^0 , jari-jari dalam dan luar *stereofom* masing-masing adalah sebesar 0.851 dan 1.143 m, maka

Luas area seluruh pelampung adalah :

$$a = 6 \times 3.14 \times \left(\frac{45}{360} \times 3.14 (1.143^2 - 0.851^2) \right) = 1.37 m^2$$

tinggi pelampung yang dibutuhkan adalah sebesar :

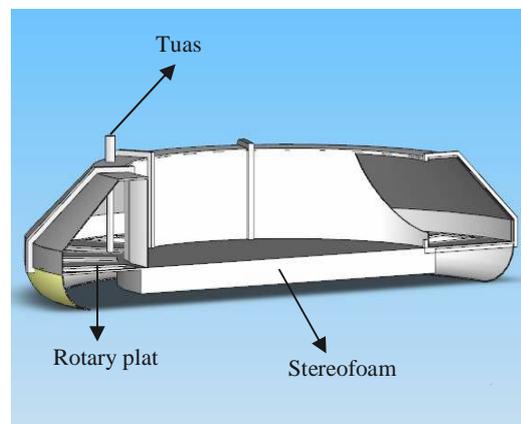
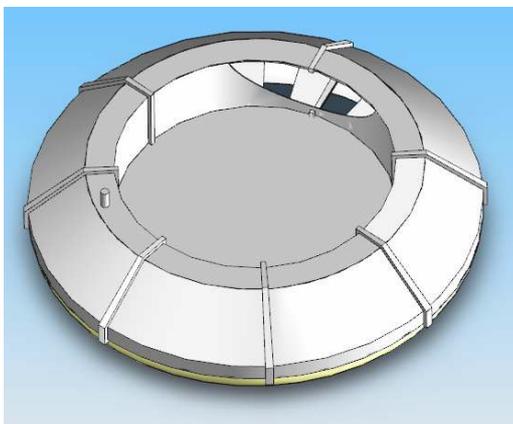
$$h = \frac{(v_c - v_{st})}{a}$$

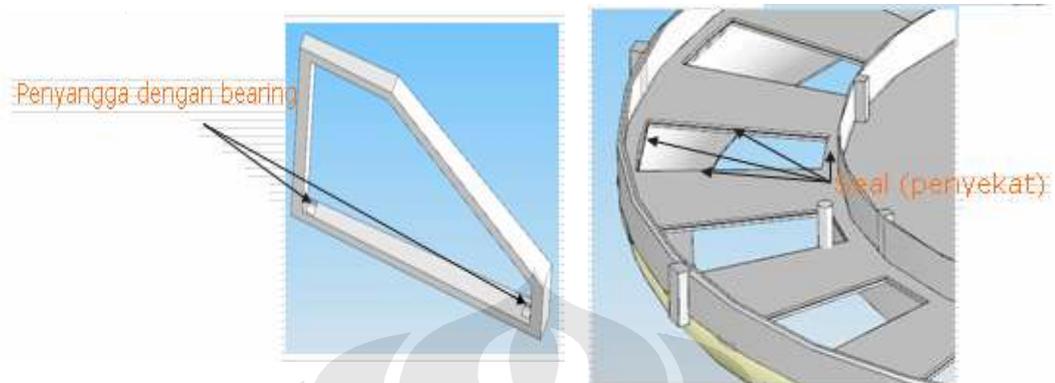
$$= \frac{(0.155 - 0.0556)}{1.37} = 0.0725 m$$

Konsep desain-1 ini memiliki keunggulan berupa proses pembuatannya yang relatif mudah, namun dimensi diameter terluar *hovercraft* menjadi semakin besar., yaitu 2.286 m. Berdasarkan kriteria desain dan estetika maka meskipun proses pembuatannya mudah namun desain ini tidak disarankan untuk digunakan dalam pembuatan *hovercraft*.

2. Konsep desain-2

Penambahan *Stereofom* didesain dengan memanfaatkan area di bawah alas *hovercraft* (area lingkaran) Penambahan elemen ini digunakan untuk mengurangi tekanan air yang masuk ke *plenum* pada saat *transfer hole* dibuka, yaitu elemen *stereofom* ini secara langsung dapat mengurangi beban total *hovercraft* sehingga dapat mengurangi tekanan air yang masuk ke dalam plenum *hovercraft*. Skema penambahan *stereofom* dan *rotary plate* pada desain adalah sebagai berikut :





Gambar 6.38 Skema penambahan *stereofoam* dan *rotary plate*

Dari persamaan *archimedes* didapat bahwa gaya apung pada suatu benda adalah sama dengan gaya yang bekerja pada volume benda tercelup, yaitu :

$$W = \rho g v_c$$

$$m_t g = \rho g v_c$$

$$v_c = \frac{m}{\rho}$$

Dimana :

W = berat total *hovercraft* (N)

m_t = massa total *hovercraft* (kg)

g = percepatan gravitasi (10 m/s^2)

ρ = massa jenis air (1000 kg/m^3)

v_c = volume benda tercelup (m^3)

Penambahan elemen *stereofoam* dilakukan pada setiap variasi desain yang dibuat dan dari spesifikasi desain final, didapat bahwa nilai parameter-parameter elemen *stereofoam* yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

Spesifikasi desain *hovercraft*

$m_t = 155 \text{ kg}$

volume total *stereofoam*

$$v_c = \frac{155}{1000} = 0.155m^3$$

Dimensi *stereofoam* (lingkaran pada sisi bawah *plenum*)

$$r_{st1} = 0.522 \text{ m}$$

$$a_{st} = \pi r_{st}^2$$

$$a_{st} = \pi 0.522^2 = 0.855m^2$$

Dengan asumsi ketebalan *stereofoam* (t_{st}) adalah 65 mm (0.065m), maka volumenya (v_{st}) adalah sebesar

$$v_{st} = a_{st} \cdot t_{st}$$

$$v_{st} = 0.855 \times 0.065 = 0.0556m^3$$

Dari pengurangan volume *stereofoam* sebesar 0.0556 m³, maka volume benda tercelup totalnya adalah sebesar :

$$v_c' = v_c - v_{st}$$

$$v_c' = 0.15 - 0.0556 = 0.0944m^3$$

Dengan $a_c = 3.14 \times 0.8^2 = 2.0096m^2$, maka ketinggian air yang menggenangi *hovercraft* pada saat awal *hovercraft* dioperasikan adalah sebesar :

$$h = \frac{v_c'}{a_c}$$

$$h = \frac{0.0944}{2.0096} = 0.0469m \text{ atau sebesar } 4.69 \text{ cm}$$

Nilai tekanan pada *plenum* yang dibutuhkan pada saat transfer hole dibuka (p_{ic}') adalah sebesar :

$$r_c = 0.8m$$

$$r_i = 0.5m$$

$$a_{ic} = \pi(r_c^2 - r_i^2)$$

$$a_{ic} = \pi(0.8^2 - 0.5^2) = 1.2246m^2$$

$$p_{ic} = \frac{W}{a_{ic}}$$

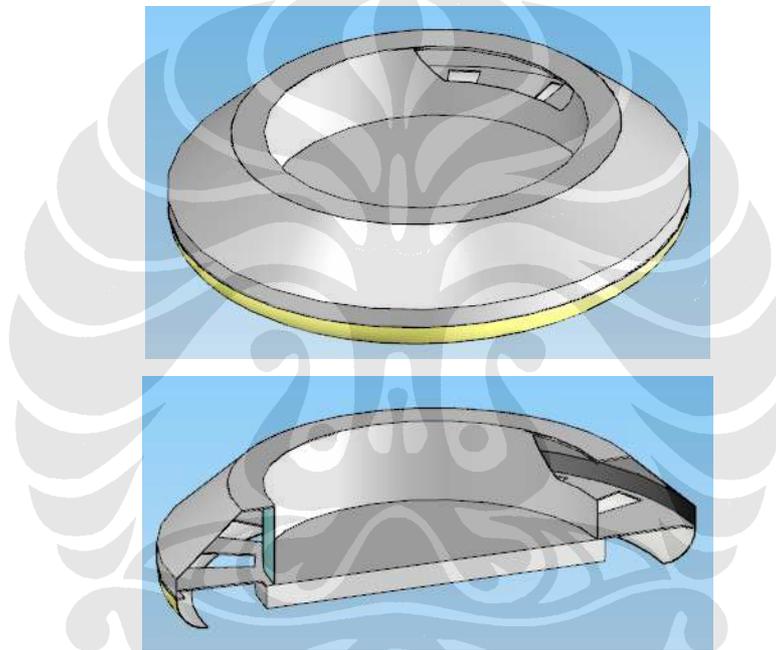
$$p_{ic} = \frac{1550}{1.2246} = 1265.7 Pa$$

$$p_{ic}' = p_{ic} - \rho g v_{st}$$

$$p_{ic}' = 1265.7 - 1000 \times 10 \times 0.0556 = 709.57 Pa$$

3. Konsep desain-3

Untuk pertimbangan gaya buoyancy model ini, maka dilakukan proses modifikasi pada sisi outlet fan di hull, yaitu dengan menutupnya dengan jarak 12 cm dari dasar hull.



Gambar 6.39 Desain penutup outlet fan pada hull

Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa ketinggian minimum yang harus dipenuhi hovercraft agar dapat mengapung adalah sebesar :

Spesifikasi desain *hovercraft*

$$m_t = 155 \text{ kg}$$

volume total *stereof foam*

$$v_c = \frac{155}{1000} = 0.155 m^3$$

Dimensi *stereof foam* (lingkaran pada sisi bawah *plenum*)

$$r_{st1} = 0.522 \text{ m}$$

$$a_{st} = \pi r_{st}^2$$

$$a_{st} = \pi 0.522^2 = 0.855 \text{ m}^2$$

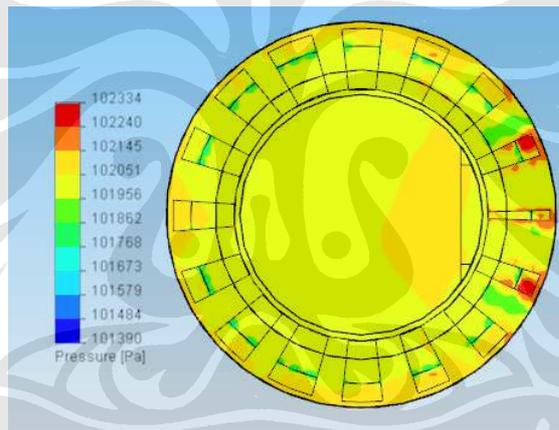
Dengan asumsi ketebalan *stereofom* (t_{st}) adalah 65 mm (0.065m), maka volumenya (v_{st}) adalah sebesar

$$v_{st} = a_{st} \cdot t_{st}$$

$$v_{st} = 0.855 \times 0.065 = 0.0556 \text{ m}^3$$

$$h = \frac{0.155 - 0.0556}{0.855} = 0.116 \text{ m}$$

Dari simulasi didapat bahwa distribusi tekanan statik pada cushion area adalah sebagai berikut :



Gambar 6.40 distribusi tekanan statik pada cushion area desain penutup outlet fan

Dari simulasi juga didapat bahwa nilai tekanan statik rata-rata cushion area adalah sebesar 102022 Pa. Nilai ini lebih besar dari hasil simulasi variasi-4 (dengan bukaan outlet normal) yang sebesar 102000 Pa.

6.2.2 Analisis stabilitas *hovercraft*

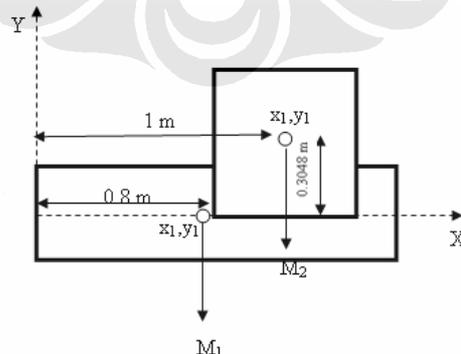
Pada desain final *integrated circular hovercraft*, didapat bahwa spesifikasi sistem *buoyancy*-nya adalah sebagai berikut :

- ❖ Volume *hovercraft* yang tercelup didalam air adalah sebesar 4.69 cm (0.0469 m)
- ❖ Bentuk dasar *hovercraft* adalah berupa lingkaran dengan dimensi diameter dan panjang duct *mixed flow fan* masing-masing adalah 0.6096 m dan 0.4 m. Diameter *hovercraft* adalah 1.6 m, maka estimasi letak *center of gravity*-nya adalah sebagai berikut :



Gambar 6.41 Desain sistem kestabilan *hovercraft*

Asumsi yang digunakan adalah bahwa bentuk *hovercraft* adalah identik dan dilakukan penyederhanaan dengan hanya menggunakan sumbu-x dan sumbu-y sebagai acuan pencarian nilai *center of gravity*. Penyederhanaan bentuk *hovercraft* dalam sistem koordinat



Gambar 6.42 Koordinat titik berat *hovercraft*

Dari sistem koordinat diatas didapat :

$$(x_1, y_1) = (0.8, 0)$$

$$(x_2, y_2) = (1, 0.3048)$$

Dari spesifikasi desain awal dan spesifikasi pemilihan *fan mixed flow* didapat bahwa berat M_1 (berat *hovercraft* tanpa *fan system*) adalah 135 kg dan berat M_2 (berat *mixed flow fan*) adalah 20 kg.

$$\text{Berat total adalah } M_T = \sum_{i=1}^n M_i$$

Dari spesifikasi desain awal dan spesifikasi pemilihan *fan mixed flow* didapat bahwa berat M_1 (berat *hovercraft* tanpa *fan system*) adalah 135 kg dan berat M_2 (berat *mixed flow fan*) adalah 20 kg. Maka besar berat total adalah

$$M_R = 135 + 20 = 155 \text{ kg}$$

Maka letak koordinat dari *center of gravity* dari keseluruhan *hovercraft* adalah sebagai berikut :

Letak koordinat *center of gravity* pada sumbu-x :

$$\bar{X}_R = \frac{x_1 M_1 + x_2 M_2}{M_R}$$

$$\bar{X}_R = \frac{0.8 \times 135 + 1 \times 20}{155} = 0.826 \text{ m}$$

Letak koordinat *center of gravity* pada sumbu-y :

$$\bar{Y}_R = \frac{y_1 M_1 + y_2 M_2}{M_R}$$

$$\bar{Y}_R = \frac{0 \times 135 + 0.3048 \times 20}{155} = 0.0393 \text{ m}$$

Maka letak *center of gravity*nya (G) adalah (0.826, 0.0393)

❖ *Center of buoyancy* (C) dari *hovercraft* didapat :

$$C = \left(0.826, \frac{h}{2} \right)$$

$$C = (0.826, \frac{0.0469}{2}) = (0.826, 0.02345)$$

- ❖ Menentukan jarak *center of gravity* (G) dan *center of buoyancy* (C). Jarak C dan G adalah

$$GC = (0.826, 0.0393) - (0.826, 0.02345) = 0.01585m$$

- ❖ Nilai *metacentric height*

Dengan nilai momen inersia untuk bentuk lingkaran adalah

$$I_{00} = \frac{\pi D^2}{64}$$

$$I_{00} = \frac{\pi 1.6^2}{64} = 0.1256$$

$$V = 0.155m^3$$

Maka nilai *metacentric height*-nya adalah sebesar

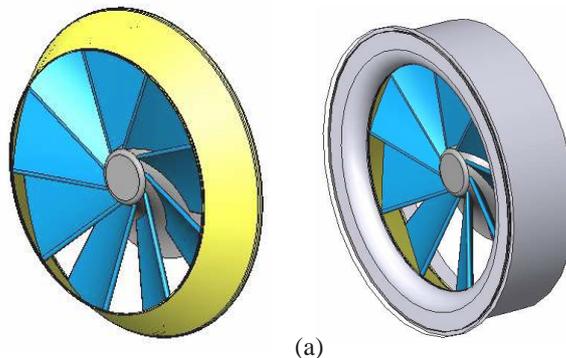
$$GM = \frac{I_{00}}{V} - CG$$

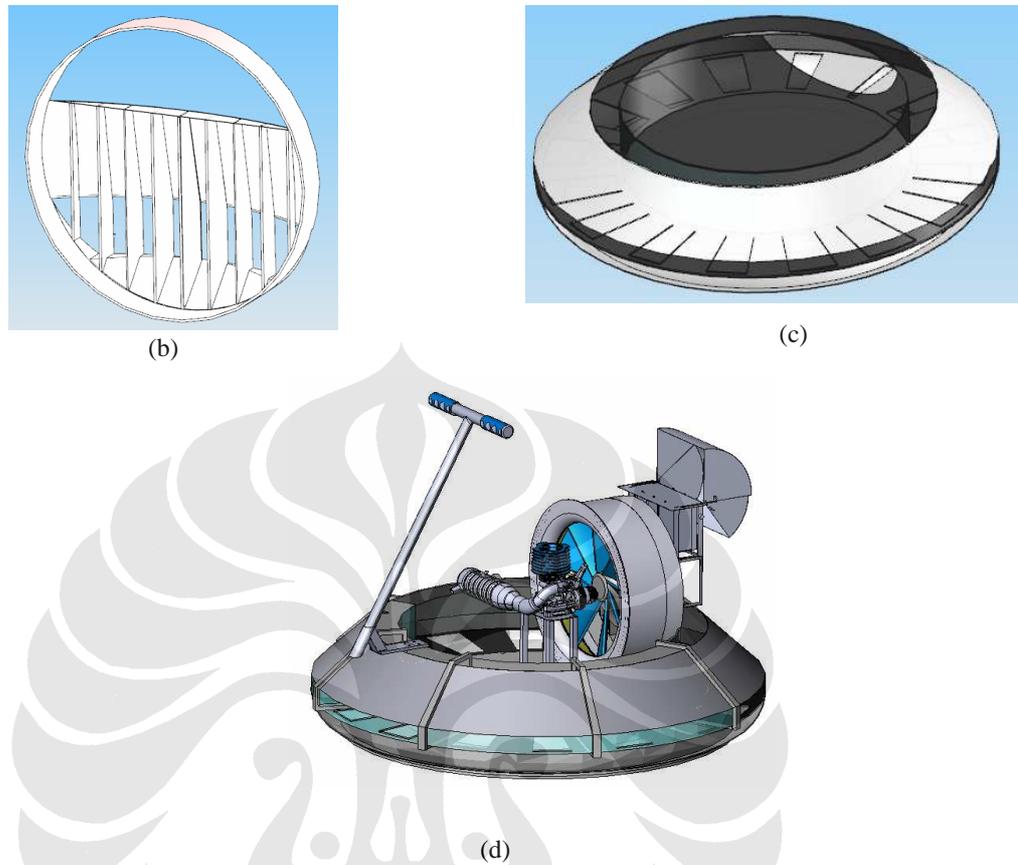
$$GM = \frac{0.1256}{0.155} - 0.01585 = 0.7944m$$

- ❖ Karena nilai GM dari *hovercraft* adalah positif ($0.7944 > 0$) maka kondisinya adalah stabil

6.3 ANALISIS EVALUASI PERFORMA KERJA DESAIN KESELURUHAN INTEGRATED CIRCULAR HOVERCRAFT

Setelah melalui modifikasi desain bentuk desain optimum untuk masing-masing bagian hovercraft didapat bentuk sebagai berikut :





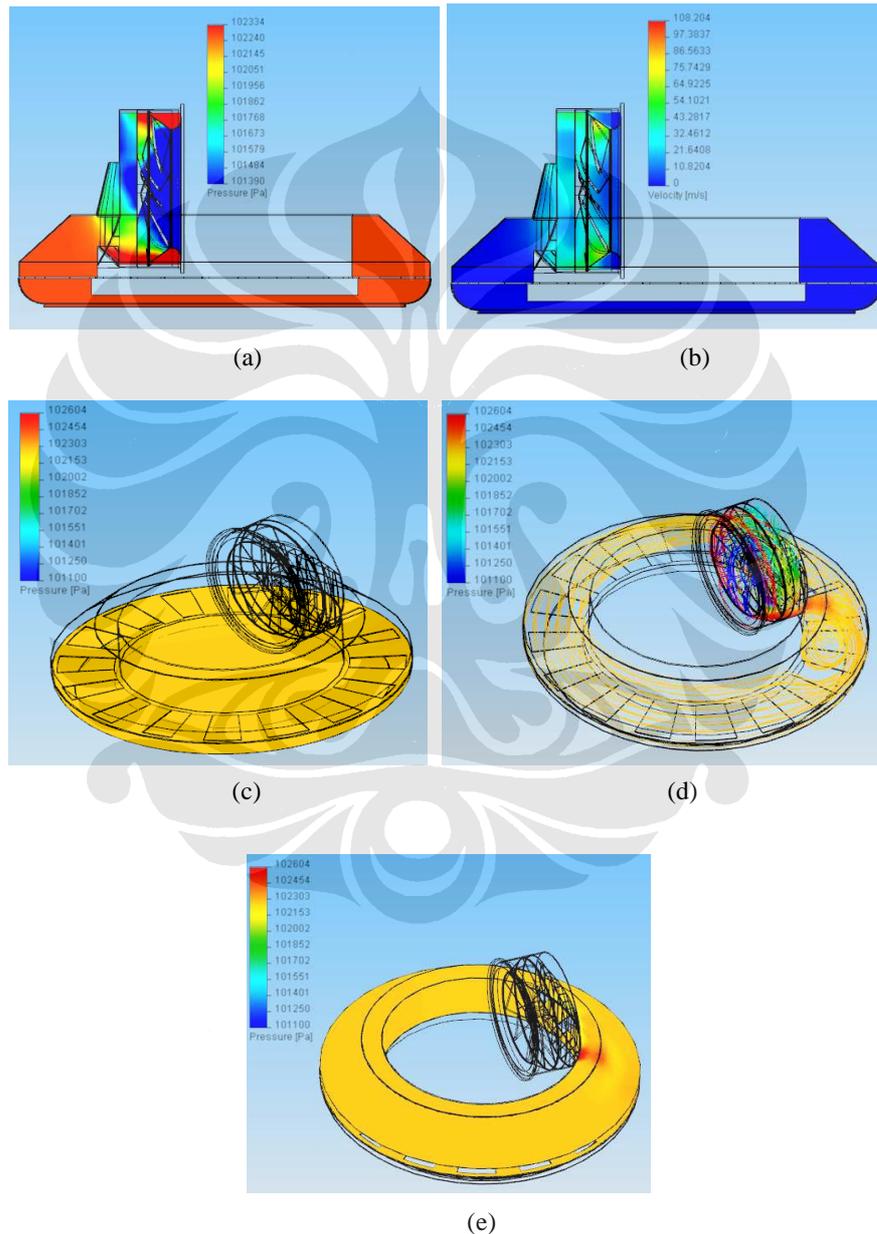
Gambar 6.43 (a) *Mixed Flow Fan* (b) *Splitter* dengan *guide vane* (c) desain *hull* dan *bag skirt* (non-uniform transfer holes), (d) *Modifikasi Final Circular Hovercraft*

Dari desain optimum ini dilakukan simulasi keseluruhan untuk mengetahui distribusi tekanan dan kecepatan *hovercraft*. Input data berasal dari data performance karakteristik dari mixed flow fan dimana, dilakukan pemilihan terhadap konfigurasi yang dapat menyuplai tekanan cushion minimum dan kecepatan thrust minimum, data input nya sebagai berikut :

Tabel 6.11 Input data dan hasil simulasi untuk tekanan *cushion* dan kecepatan *thrust* untuk simulasi keseluruhan

No	Q (m ³ /s)	Pc (Pa)	Pc-Patm (Pa)	Vthrust (m/s)
1	1.2	101544	219	30.21
2	1.6	102273	948	34.48
3	2	102568	1243	40.12
4	2.4	103312	1987	45.2
5	2.8	104089	2764	55.01
6	3.2	105024	3699	61.6
7	3.6	105991	4666	67.96

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa konfigurasi yang mencapai tekanan minimum yang dibutuhkan cushion dan kecepatan minimum yang dibutuhkan untuk gaya dorong/*thrust* adalah pada konfigurasi dengan debit aliran 1,6 m³/s. Setelah dimasukkan data input maka dilakukan simulasi dan didapat hasil sebagai berikut :



Gambar 6.44 (a) distribusi tekanan (b) distribusi kecepatan (c) distribusi tekanan *cushion* (d) visualisasi streamline distribusi tekanan (e) distribusi tekanan *bag*

Dari visualisasi simulasi dapat dilihat distribusi tekanan pada cushion yang dihasilkan dengan nilai tekanan sebesar 948 Pa dengan distribusi kecepatan pada *thrust* sebesar 34,48 m/s. Berdasarkan hasil simulasi maka parameter yang dibutuhkan *hovercraft* untuk bermanuver dapat terpenuhi.

