

INVESTIGASI NUMERIK TERHADAP MEDAN ALIRAN *SIPHONIC ROOF OUTLET* TIPE *NON-BOWL LAMINAR FLOW (NOFMIF)*

*Wahyu Prayogo¹, Syaiful², Muchammad²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: wahyuprayogotm9@gmail.com

Abstrak

Penggunaan *siphonic* pada sistem drainase air hujan pada gedung-gedung besar berguna untuk meningkatkan laju debit aliran dan berfungsi untuk mengurangi intensitas turbulensi aliran fluida. Studi ini difokuskan pada simulasi numerik aliran melalui *siphonic* pada *downpipe* sistem drainase. Dalam studi numerik ini, *siphonic roof outlet (SRO)* tipe *Non-bowl Fin Laminar Flow (NOFMIF)* dengan *baffle plate concave* dipasang pada *base plate* pipa *downpipe*. Analisis medan aliran pada *siphonic* outlet tipe NOFMIF dilakukan pada *multiphase model* dengan variasi fraksi udara 0% sampai 30%. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan prosentase udara pada sistem *siphonic* menyebabkan berturut-turut penurunan tingkat laju aliran dan *negative pressure* 0,02% dan 0,079% pada setiap kenaikan 5% udara. Peningkatan prosentase udara juga menyebabkan penurunan intensitas turbulen 0,048% pada setiap kenaikan 5% udara. Pola aliran pada SRO memperlihatkan fenomena dimana terjadi konsentrasi fraksi udara di bawah *baffle plate* berbentuk *concave-rectangular*.

Kata kunci: *Baffle plate; Fin; Laminar flow; Non-bowl; NOFMIF; Siphonic roof outlet; Sistem Siphonic; TKE*

Abstract

The use of *siphonic* in rainwater drainage systems in large buildings is useful for increasing the flow rate and serves to reduce the intensity of fluid flow turbulence. This study focuses on numerical simulation of flow through *siphonic* in the *downpipe* of the drainage system. In this numerical study, a *siphonic roof outlet (SRO)* of the *Non-bowl Fin Laminar Flow (NOFMIF)* type with a *concave baffle plate* is installed on the *base plate* of the *downpipe* pipe. Flow field analysis at the NOFMIF type *siphonic* outlet was carried out on a *multiphase model* with variations in air fractions from 0% to 30%. The results show that increasing the percentage of air in the *siphonic* system causes a decrease in the flow rate and *negative pressure* of 0.02% and 0.079% for every 5% increase in air. Increasing the percentage of air also causes a decrease in turbulent intensity of 0.048% for every 5% increase in air. The flow pattern in the SRO shows a phenomenon where there is a concentration of air fractions under the *concave-rectangular baffle plate*.

Keywords: *Baffle plate; Fin; Laminar flow; Non-bowl; NOFMIF; Siphonic roof outlet; Siphonic system; TKE*

1. Pendahuluan

Manajemen drainase air hujan telah menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan akhir-akhir ini, sehingga air hujan dapat dimanfaatkan kembali. Penggunaan sistem drainase air hujan pada gedung-gedung besar dibagi dua, yaitu sistem gravitasi atau disebut sistem konvensional dan sistem *siphonic* [1]. Sistem *siphonic* terdiri dari komponen *siphonic roof outlet*, *tail pipe*, *collector pipe*, *vertical pipe*, dan *siphon break*. Pemasangan *roof outlet siphonic* pada sistem drainase air hujan berfungsi untuk mencegah terbentuknya *vortex* di dalam pipa outlet, sehingga pipa dapat terisi penuh oleh air (*full bore*). Penerapan sistem *siphonic* pada gedung-gedung industri dan perusahaan adalah lebih ekonomis daripada sistem konvensional oleh karena penggunaan material pipa yang lebih sedikit.

Sistem *siphonic* pertama kali ditemukan oleh Ebeling dan Lunden pada tahun 1967 [1]. Kerjasama antara Ebeling dan seorang konsultan keteknikan dari Norwegia telah berhasil merancang dan memasang sistem *siphonic* pertama kali di pabrik turbin di Swedia pada tahun 1972 [2]. Penerapan sistem drainase air hujan sekarang ini telah melalui banyak inovasi pada desain dan spesifikasinya. Sekarang ini, sistem *siphonic* telah menjadi bagian rancangan pada gedung-gedung besar [3]. Sistem *siphonic* adalah lebih efisien daripada sistem drainase lainnya terutama untuk

bangunan dengan atap yang luas [4]. Sommerhein et al. [1] menyatakan bahwa implementasi siphonic membutuhkan spesialisasi yang memahami prinsip hidraulik, teknik desain, dan komponen sistem agar siphonic bekerja dengan baik.

Salah satu komponen terpenting pada sistem siphonic adalah *siphonic roof outlet* [5]. Penggunaan SRO dapat mencegah udara masuk ke dalam sistem sehingga sistem perpipaan dapat beroperasi pada aliran penuh (*full bore*) [2]. Pada umumnya, terdapat dua tipe SRO berdasarkan konstruksinya, yaitu tipe *bowl* dan tipe *non-bowl* [12]. Fierlafijin [13] juga mengelompokkan tipe SRO berdasarkan pola alirannya, yaitu *laminar flow* dengan banyak perubahan arah aliran pada khususnya tipe SRO Bowl, *laminar flow* dengan penggunaan *fin* khususnya pada tipe *non-bowl*, dan *laminar agitating flow* tanpa *fin* pada khususnya tipe *non-bowl*. Wright et al. [6] menyatakan bahwa, pendekatan dalam desain sistem siphonic didasarkan pada sistem siphonic yang bekerja pada kondisi sistem terisi penuh oleh air pada kriteria desain tertentu (atau pada curah hujan tertentu). Dengan asumsi ini, desain sistem siphonic dimungkinkan untuk menggunakan teori hidraulik pada keadaan *steady state*.

Arthur dan Swaffield [7] dalam penelitiannya mencoba untuk mengukur dan memodelkan kandungan udara pada *two-phase flow* sistem siphonic. Mereka menyimpulkan bahwa keberadaan udara pada sistem siphonic dapat mempengaruhi: (1) tekanan operasi (2) kecepatan (3) *friction losses*, sehingga, pengaruh tersebut menyebabkan berkurangnya kapasitas debit pada sistem. Lucke dan Beecham [12] melakukan serangkaian eksperimen untuk menginvestigasi peran mendasar (*fundamental role*) pengaruh kandungan udara terhadap performa sistem drainase siphonic [4]. Mereka menemukan bahwa kandungan udara memberikan efek yang signifikan terhadap: (1) *maximum system flowrate capacity* (2) *pipe friction losses* (3) *operational systems pressure* (4) *operational gutter depth* dan (5) kavitasi. Lucke dan Beecham [8] menginvestigasi secara eksperimen pada sistem siphonic. Mereka menyimpulkan bahwa tipikal operasi sistem siphonic dengan rasio udara sekitar 10% dapat menyebabkan kapasitas berkurang sebesar 16%. Rasio udara juga menyebabkan perubahan tekanan pada sistem dimana udara pada kondisi normal sampai dengan 10% menyebabkan berkurangnya *pressure head* sampai dengan 20%.

Buitenhuis [13] melakukan eksperimen dengan sarana pengujian skala penuh yang mengacu pada standar EN 1253 dan ASME A112. Konfigurasi sistem siphonic yang diuji adalah *single outlet configuration*. Pengujian difokuskan untuk merancang SRO tipe *non-bowl* yang berbahan plastik dengan *spigot* diameter 75 mm dan *baffle plate* berbentuk *concave-circular* yang dilengkapi dengan *fin*. Buitenhuis menyimpulkan bahwa celah untuk udara masuk ke dalam SRO menjadi tertutup pada saat ketinggian air mencapai ujung *baffle plate*. Pada mulanya, udara berupa *plugs* berukuran besar terhisap masuk ke bawah *baffle plate*. Setelah bertambahnya ketinggian air, *plugs* tersebut berubah menjadi *bubbles* dengan ukuran yang mengecil dan jumlahnya yang meningkat [13]. Pada kondisi tersebut, tingkat kebisingan akibat fenomena ini dapat diamati. Ketika ketinggian air meningkat lebih lanjut, udara tidak lagi masuk ke dalam SRO dan aliran *full bore* pada siphonic dapat tercapai. Buitenhuis [13] juga menyatakan bahwa SRO harus memiliki *loss coefficient* sekecil mungkin untuk menghasilkan kapasitas aliran maksimum dengan ketinggian air yang rendah diatas SRO.

Bi et al. [14] melakukan studi numerik SRO tipe NOFMIF dengan *baffle plate* berbentuk *flat-circular* dan eksperimen untuk *single outlet configuration*. Hasil studi mereka menunjukkan bahwa karakteristik aliran yang dihasilkan adalah sama. Pada saat posisi ketinggian air diatas SRO, *vortex* dalam skala kecil terbentuk diatas SRO sehingga udara masih dapat masuk ke dalam SRO. Slater [15] juga melaporkan hasil analisis numerik dengan model 2D terhadap SRO tipe *bowl* untuk menghitung *non-dimensional loss factor* dari SRO. Perhitungan *loss factor* didapati 0,339 untuk debit 6 l/s dan 0,287 untuk debit 12 l/s. Slater juga menunjukkan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*) disepanjang *outlet* sebesar 0,0315 bar pada laju aliran 6 l/s. Dan penurunan tekanan (*pressure drop*) sebesar 0,2788 bar pada laju aliran 12 l/s [5].

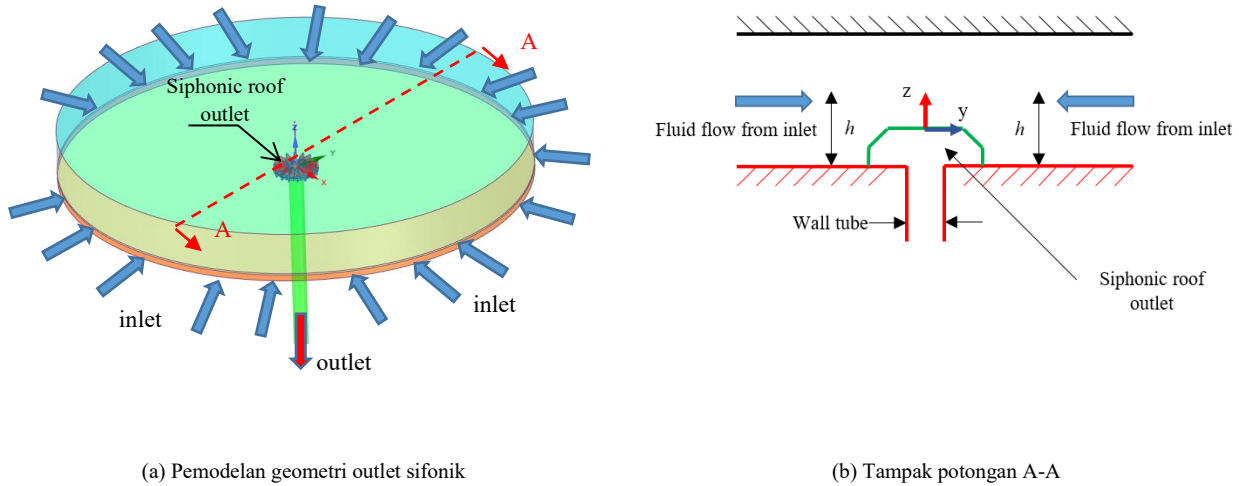
Analisis numerik kinerja SRO pada sistem drainase masih jarang dilakukan. Studi kali ini dilakukan dengan meningkatkan desain pada SRO tipe *non-bowl*. Pada penelitian SRO sebelumnya, analisis desain SRO eksperimen masih terdapat kandungan udara yang masuk pada kondisi *full bore*. Oleh karena itu, penelitian kali ini difokuskan pada analisis numerik desain outlet SRO tipe *Non-bowl Fin Laminar Flow (NOFMIF)* pada medan aliran untuk mengamati fenomena aliran udara yang masuk di bawah *baffle late*.

2. Metode Pelitian

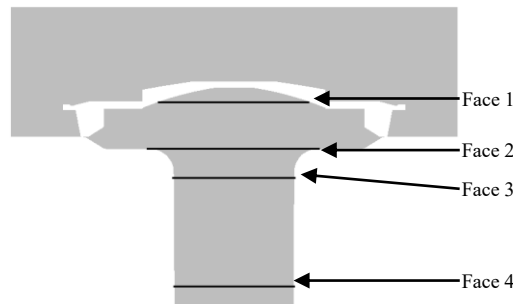
2.1. Model Komputasi

Pada penelitian ini, model numerik yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 1(a). Posisi *inlet* melingkar dengan diameter 2600 mm yang alirannya diarahkan ke SRO yang berdiameter 259 mm. Untuk memastikan aliran

fully developed, pipa dimodelkan dengan panjang 4.2 m dan diameter internal $d_i=81$ mm. Gambar 1(b) menunjukkan tampak potongan A-A dan letak titik koordinat asal yang terdapat di permukaan pusat SRO. Setelah pemodelan yang di sebutkan, beberapa area pengamatan pada dinding pipa dibuat untuk menyelidiki medan aliran dalam sistem *siphonic*, detail rincian dapat dijelaskan pada Gambar 6. Pada area pengamatan 1,2, dan 3 digunakan untuk mengamati fenomena perubahan intensitas turbulensi dan volume fraksi udara. Dan area pengamatan 4 digunakan untuk menyelidiki perubahan nilai tekanan negatif teradap kenaikan fraksi udara.



Gambar 1. Model komputasi.



Gambar 2. Area pengamatan.

2.2 Metode Numerik

Dalam penelitian ini, simulasi dilakukan dalam kondisi *steady*. Metode *Couple* dipilih untuk menyelesaikan korelasi kecepatan dan tekanan. Persamaan kontinuitas, momentum dan energi didiskritisasi menggunakan *second order upwind*. Kriteria konvergensi untuk kontinuitas dan momentum ditentukan 10^{-5} , sedangkan untuk energi 10^{-8} .

Studi ini hanya mempelajari fenomena aliran tiga dimensi, *steady*, dan inkompresibel. Oleh karena itu, persamaan konservasi massa dan momentum berturut-turut dapat ditulis seperti persamaan (2) dan (3). Pada simulasi ini, pendefinisian model fisik dilakukan untuk mengatur jenis aliran serta ada atau tidaknya transfer energi selama proses berlangsung. Pemodelan turbulen yang digunakan adalah $k-\epsilon$. Bi dkk [13] menggunakan permodelan ini dalam simulasi numerik siphonic untuk memastikan akurasi yang cukup tinggi dan pengurangan beban komputasi.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (3)$$

2.3 Kondisi Batas

Gambar 1 menunjukkan model komputasi dari studi ini. Fluida kerja yang digunakan adalah air dan udara dengan mengasumsi properties konstan. Studi ini membandingkan sepuluh variasi kedalaman air yaitu sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Kondisi batas pada inlet, outlet, dan wall dapat di tentukan sebagai berikut :

- *Inlet*

Velocity inlet digunakan sebagai kondisi batas pada inlet. Kecepatan pada sisi inlet seragam dalam arah sumbu x.

$$u = u_{in}, v = w = 0, T = T_{in} \quad (4)$$

- *Outlet*

Pressure outlet digunakan sebagai kondisi batas pada outlet. Gradien semua parameter kecuali tekanan adalah nol pada sisi outlet.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

- *Wall*

Dinding pada domain komputasi diasumsikan kondisi no-slip.

$$u = v = w = 0, q = 0 \quad (6)$$

Tabel 1. Data hasil Eksperimen

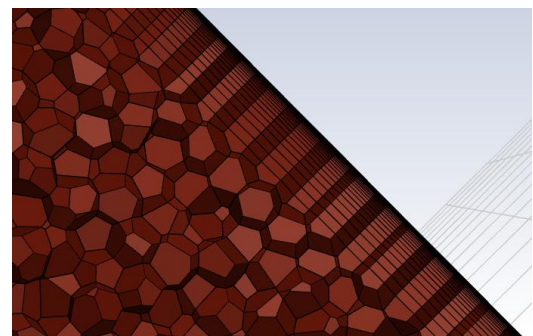
Water depth (h)	mm	43,50	49,50	54,00	59,00	61,00	62,00	65,00	68,00	74,00
Debit (Q)	L/s	12,00	16,00	20,00	22,00	24,00	26,00	28,00	30,00	32,00

2.4 Detail Mesh

Detail mesh dapat dilihat pada Gambar 3(a). Meshing dilakukan dengan menggunakan meshing watertight geometry workflow dengan elemen polyhedral yang dapat mereduksi waktu komputasi. Mesh memiliki kualitas orthogonal minimum 0.05, yang merupakan nilai yang dapat diterima untuk kualitas mesh yang baik. Penghalusan mesh difokuskan pada SRO dan daerah di sekitarnya. Inflation layer ditentukan 10 layer untuk menangkap gradien perubahan kecepatan yang besar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(b). Selain itu, inflation layer juga digunakan untuk memastikan bahwa nilai y^+ diantara 30 sampai 300.



(a) Meshing keseluruhan



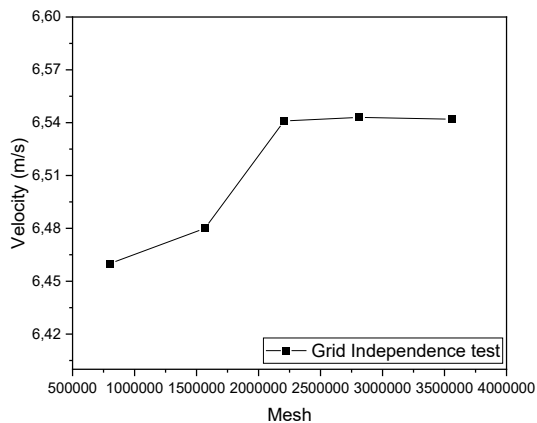
(b) Inflation layer mesh dekat dinding

Gambar 3. Detail mesh

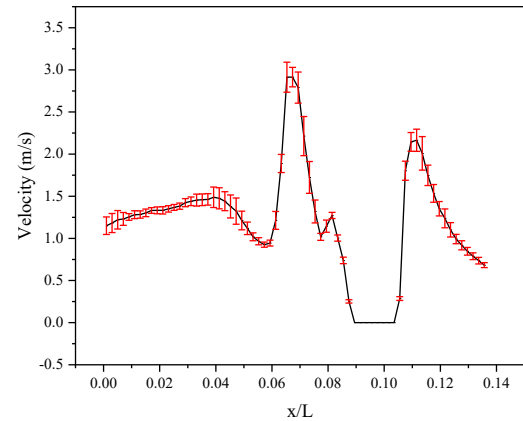
2.5 Grid Independen

Grid independen test dilakukan untuk mendapatkan jumlah mesh optimal yang dibutuhkan. Grid independen ini didapat dengan pengujian beberapa jumlah mesh terhadap nilai maximum velocity. Jumlah mesh dari 0.5 juta sampai 3,56 juta dari enam kasus dengan konfigurasi $h = 74$ mm, $Q = 32$ L/s, dan $V_f = 0\%$ divariasikan untuk mendapatkan nilai maximum velocity, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Uji grid dilakukan pada Re antara 21.200 hingga 58.400 dengan lima variasi jumlah grid pada rentang mesh. Dari Gambar 4 dapat diamati bahwa peningkatan jumlah mesh diatas 2,23 juta menghasilkan perubahan nilai maximum velocity yang tidak signifikan dengan penyimpangan sekitar 4%.

Grid convergence index (GCI) digunakan untuk mengevaluasi keakurasian studi numerik yang dilakukan [17]. Gambar 5 menyatakan grafik local GCI dari velocity pada $z=0$ untuk mesh 2,23 juta, 2,84 juta, dan 3,56 juta. Meskipun grafik velocity memiliki beberapa nilai puncak, tetapi local GCI velocity adalah kecil dengan rata-rata sebesar 5%.



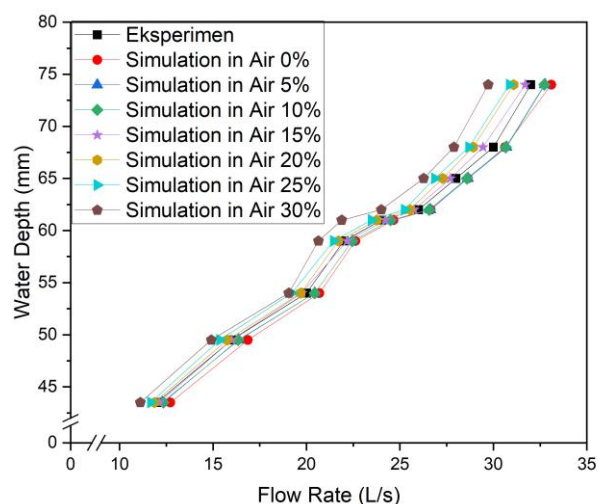
Gambar 4. Uji grid independent



Gambar 5. Grid convergence index

2.6 Validasi

Gambar 6 menginformasikan data validasi hasil eksperimen dan simulasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi numerik dengan data test report TUV SUD PSB 2015 sehingga akan didapatkan nilai error data. Berdasarkan data simulasi, dapat dilihat bahwa nilai debit air (Q) akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan fraksi udara. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya bahwa tingkat laju aliran air dipengaruhi oleh persentase fraksi udara oleh karena volume air pada pipa akan berkurang seiring peningkatan kadar udara. Sehingga menyebabkan negative pressure berkurang yang mempengaruhi penurunan laju aliran. Untuk tingkat kandungan udara 0% didapatkan average error sebesar 3,40%, tingkat kandungan udara 5% didapatkan average error sebesar 2,28%, tingkat kandungan udara 10% didapatkan average error sebesar 2,23%, tingkat kandungan udara 15% didapatkan average error sebesar 0,97%, tingkat kandungan udara 20% didapatkan average error sebesar 1,92%, tingkat kandungan udara 25% didapatkan average error sebesar 3,37%, dan tingkat kandungan udara 30% didapatkan average error sebesar 6,89%, untuk hasil validasi dapat dijelaskan pada Tabel 2. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa persentase fraksi udara aktual adalah pada tingkat 15%, hal ini dikarenakan nilai average error-nya adalah yang paling kecil terhadap data test report TUV SUB PSB 2015.



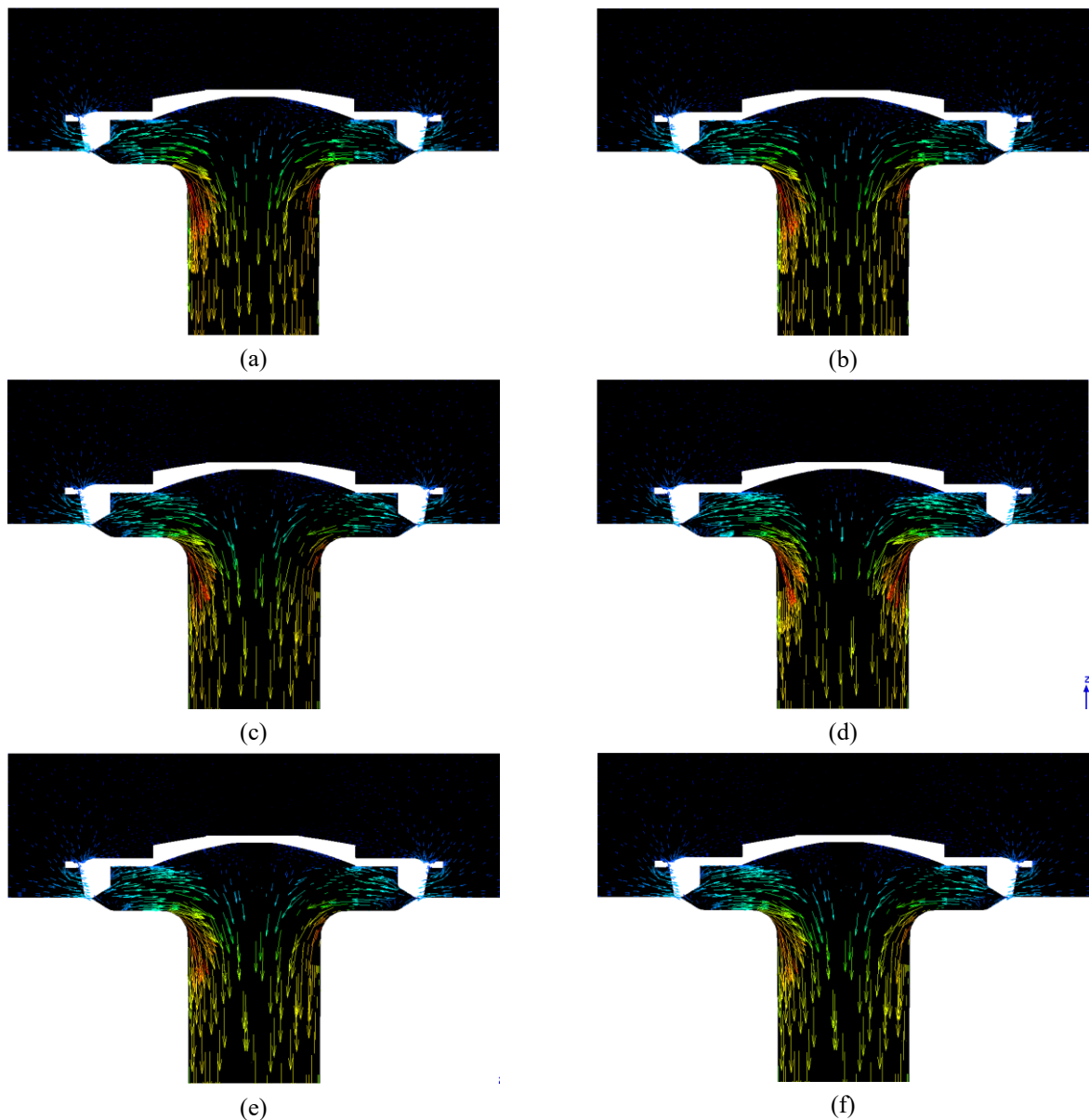
Gambar 6. Grafik perbandingan simulasi numerik dengan eksperimen

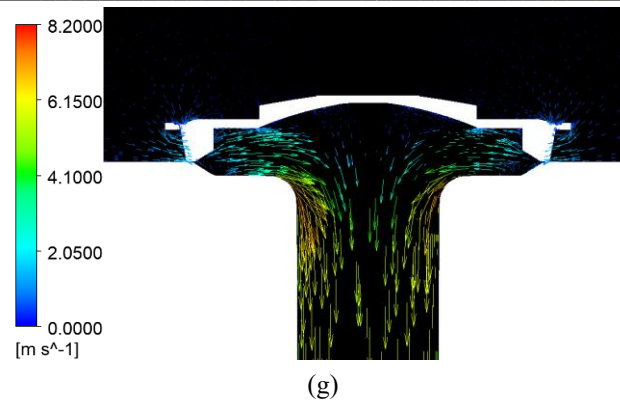
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Medan aliran pada SRO tipe NOFMIF (Kecepatan)

Gambar 7 menunjukkan data vector kecepatan hasil simulasi numerik pada penampang YZ. Gambar diambil pada variasi debit tertinggi 32L/s dengan kedalaman 74 mm pada masing-masing variasi persentase fraksi udara. Vektor kecepatan pada bidang YZ diambil pada setiap fraksi udara (fraksi udara 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% pada Q 32L/s) untuk menganalisa pola aliran dan perubahan kecepatan pada SRO. Pada kasus gambar vector yang diambil dapat diperhatikan, untuk Gambar 7 (a) pola aliran vector adalah laminar saat mendekati SRO dan tidak terjadi aliran vortex sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi aliran adalah *fullbore*. pada vector dekat dinding SRO dapat dilihat jelas pola masuk dan tabrakan dengan baseplate sehingga terbentuk pola persebaran vector. Untuk Gambar 7 (e) pola aliran vector masih sama yaitu laminar, namun pola tabrakan vector dengan dinding dan persebarannya lebih sedikit. Hal ini karena semakin tingginya persentase udara menyebabkan kecepatan laju aliran juga menurun.

Pola warna pada gambar vector (a) hingga (e) menunjukkan pola perubahan kecepatan aliran seiring bertambahnya persentase udara. Kandungan udara akan mempengaruhi kecepatan. Apabila tingkat kandungan udara semakin besar, maka kecepatan akan semakin rendah.



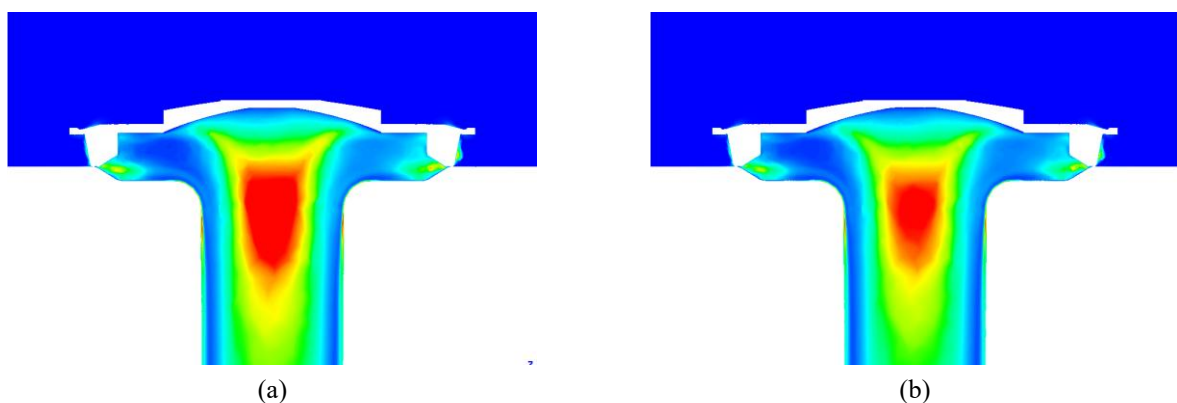


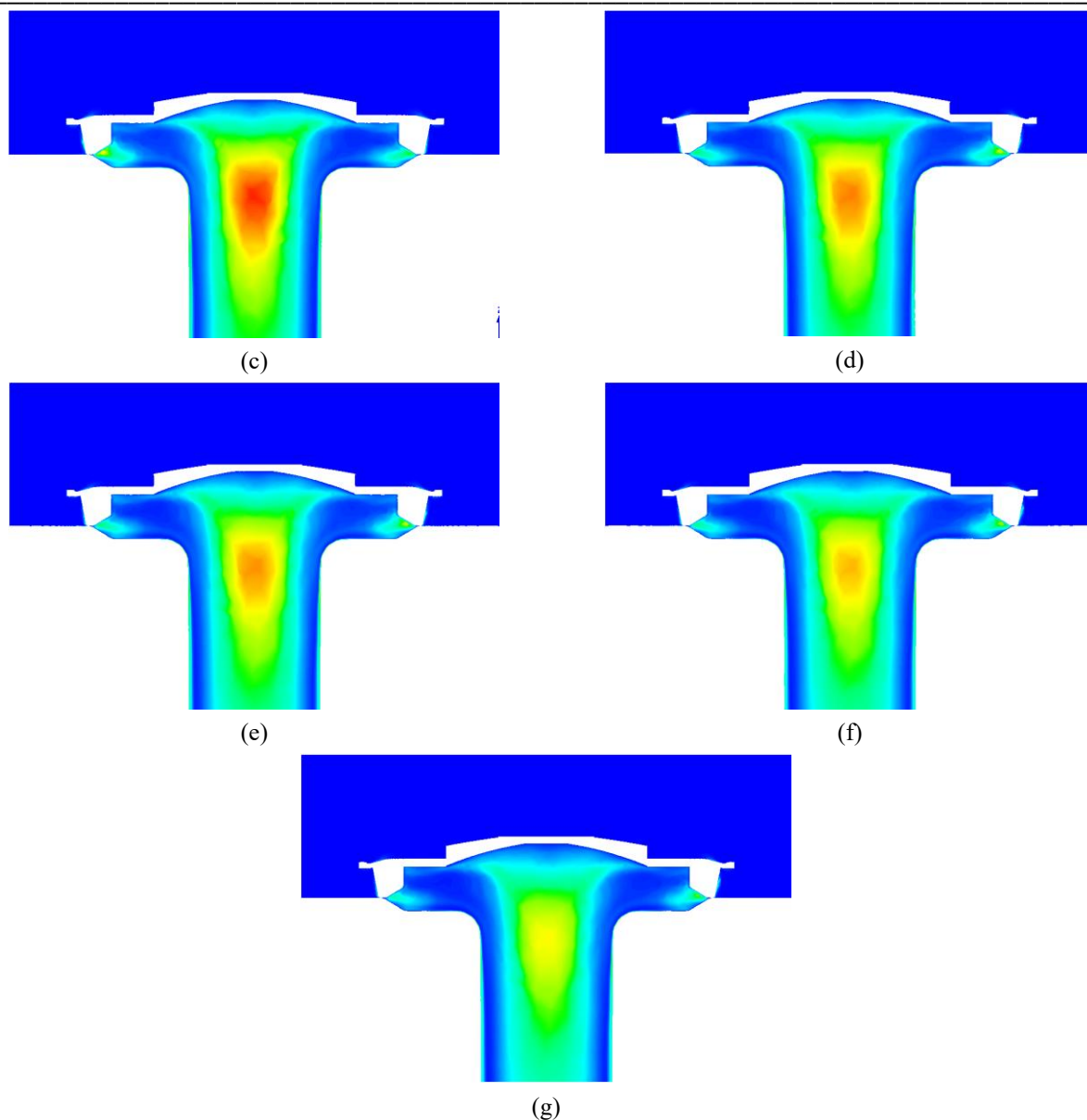
Gambar 7 *Velocity Vector* pada *Water Depth* 74 mm untuk kasus (a) 0% udara, (b) 5% udara, (c) 10 % udara, (d) 15% udara, (e) 20% udara, (f) 25% udara, dan (g) 30% udara

3.2 Medan aliran pada SRO tipe NOFMIF (TKE)

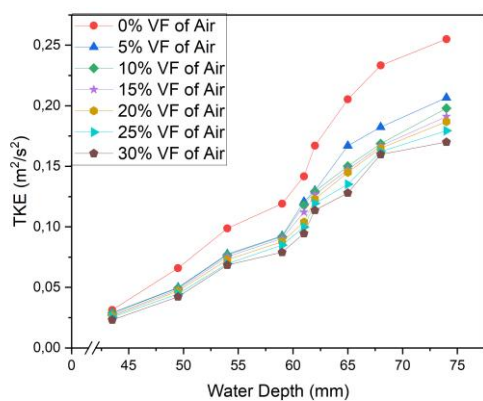
Intensitas turbulensi pada aliran SRO akan mempengaruhi ada atau tidaknya aliran vortex yang terbentuk yang akan mempengaruhi kinerja aliran pada SRO. Gambar 8 menunjukkan data kontur *turbulence kinetic energy* pada penampang YZ. Gambar diambil pada laju aliran 32L/s dengan kedalaman 74mm untuk setiap variasi fraksi udara. Pengambilan gambar dilakukan untuk mengetahui pola perubahan TKE berdasarkan kenaikan fraksi udara. Pada Gambar (a) hingga (e) dapat diapati pola warna yang menunjukkan intensitas TKE. Gambar (a) pada $h=74$ mm dengan persentase udara 0% memiliki intensitas turbulen tertinggi dan semakin turun intensitas turbulensi nya semakin rendah. Selain pola penurunan, dapat diamati juga posisi daerah dengan intensitas turbulen tertinggi selalu pada area yang sama yaitu tepat saat masuknya air ke dalam *downpipe*. Dari pola gambar kontur TKE dapat diinformasikan bahwa peningkatan persentase udara pada aliran SRO akan menyebabkan penurunan intensitas turbulen (TKE) dengan pola yang sama dengan area turbulen yang sama pada setiap variasi.

Gambar 9 menunjukkan data grafik nilai *turbulence kinetic energy* pada tiga penampang berbeda yang dijelaskan pada gambar 6. Data diambil pada perpotongan penampang AA, BB, dan CC untuk mengidentifikasi perbedaan konsentrasi TKE pada daerah tersebut. Dari ketiga grafik di bawah dapat disimpulkan bahwa daerah pada penampang CC memiliki konsentrasi turbulensi tertinggi daripada daerah perpotongan lain.

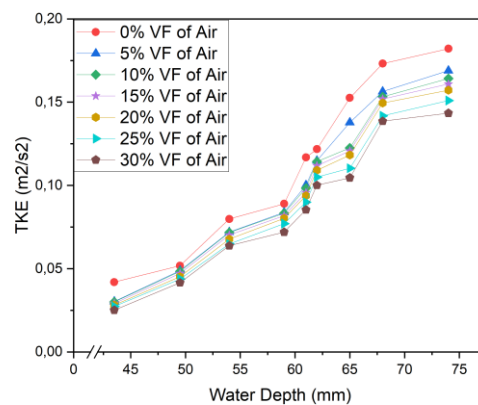




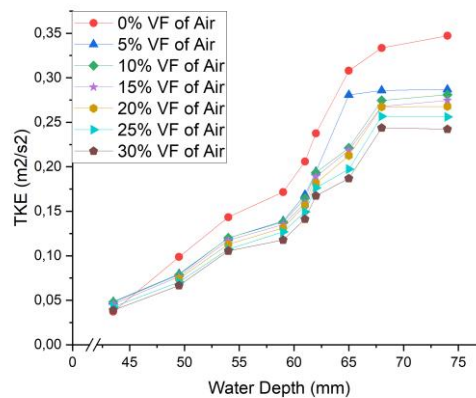
Gambar 8 *Turbulent Kinetic Energy* pada *Water Depth* 74 mm untuk kasus (a) 0% udara, (b) 5% udara, (c) 10 % udara, (d) 15% udara, (e) 20% udara, (f) 25% udara, dan (g) 30% udara



(a)



(b)

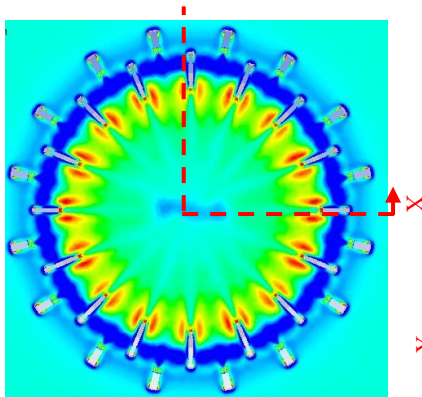


(c)

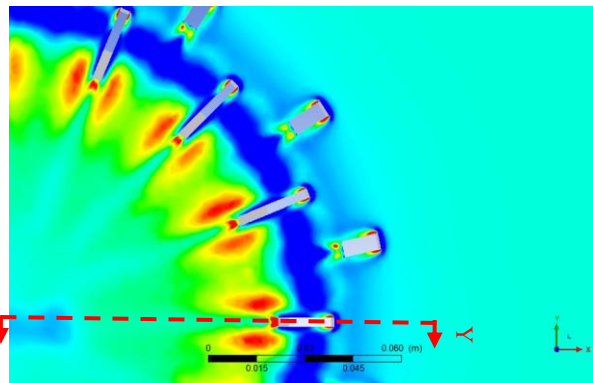
Gambar 9 Nilai TKE (a) potongan AA (b) potongan BB (c) potongan CC

3.3 Medan aliran pada SRO tipe NOFMIF (Volume Fraction)

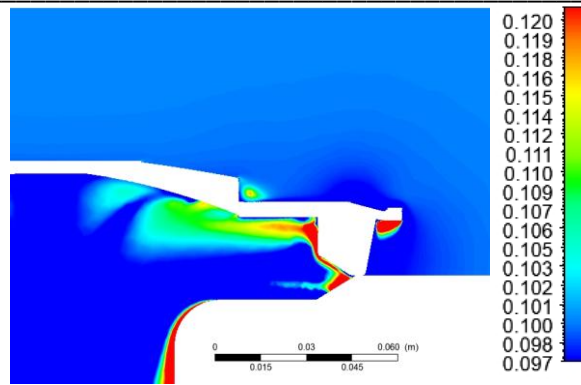
Hasil simulasi numerik volume fraction pada SRO dapat dilihat pada gambar 10a, gambar 10b dan gambar 10c. Gambar 10 menunjukkan perbesaran kontur VF pada aliran masuk SRO. Gambar diambil pada perpotongan penampang XY pada jarak 21 mm terhadap sumbu utama. Hasil simulasi numerik pada gambar 10a dan 10b menunjukkan konsentrasi fraksi udara lebih banyak berkumpul pada dinding fin. Fenomena pengkonsentrasian fraksi udara dapat disebut fenomena bubble flow. Pada gambar 10c menunjukkan gambar kontur pada penampang YZ pada sumbu utama SRO. Gambar 10c dapat dilihat bahwa pola fraksi udara terkonsentrasi berada di bawah baffle plate ini. Pola fraksi udara sama untuk semua variasi. Fenomena ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Buitenhuis [14] dimana terjadi gelembung udara dibawah baffle plate untuk SRO tipe NOFMIF dengan baffle plate berbentuk circular-concave.



(a)



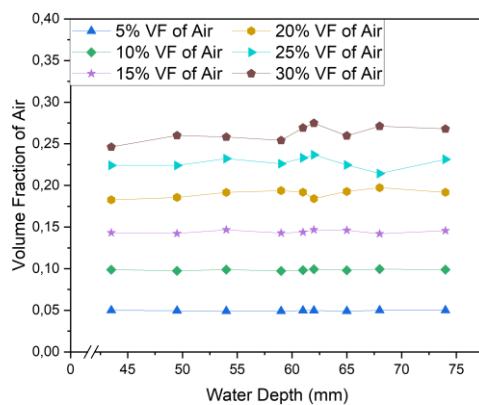
(b)



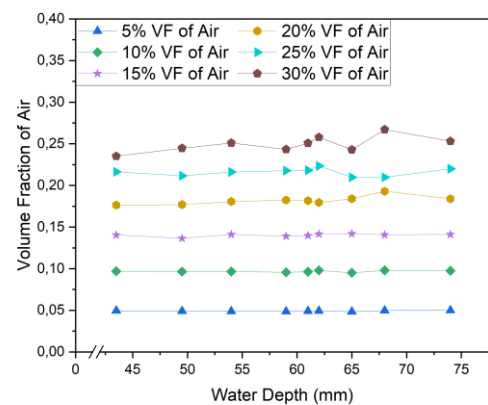
(c)

Gambar 10. Fenomena konsentrasi udara di bawah *baffle plate*, (a)Tampak atas, (b)Tampak potongan X-X, (c) Tampak Potongan Y-Y

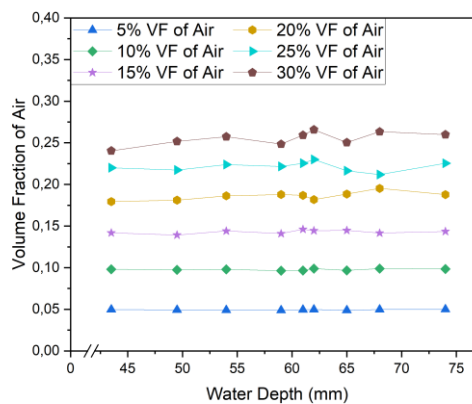
Gambar 11 dibawah merupakan grafik data nilai vraksi udara pada tiga penampang berbeda. Dari ketiga gambar dapat disimpulkan bahwa nilai fraksi udara paling stabil adalah pada gambar perpotongan CC dengan perubahan nilai setiap kenaikan fraksi udara adalah 5,3% setiap kenaikan fraksi udara 5%.



(a)



(b)

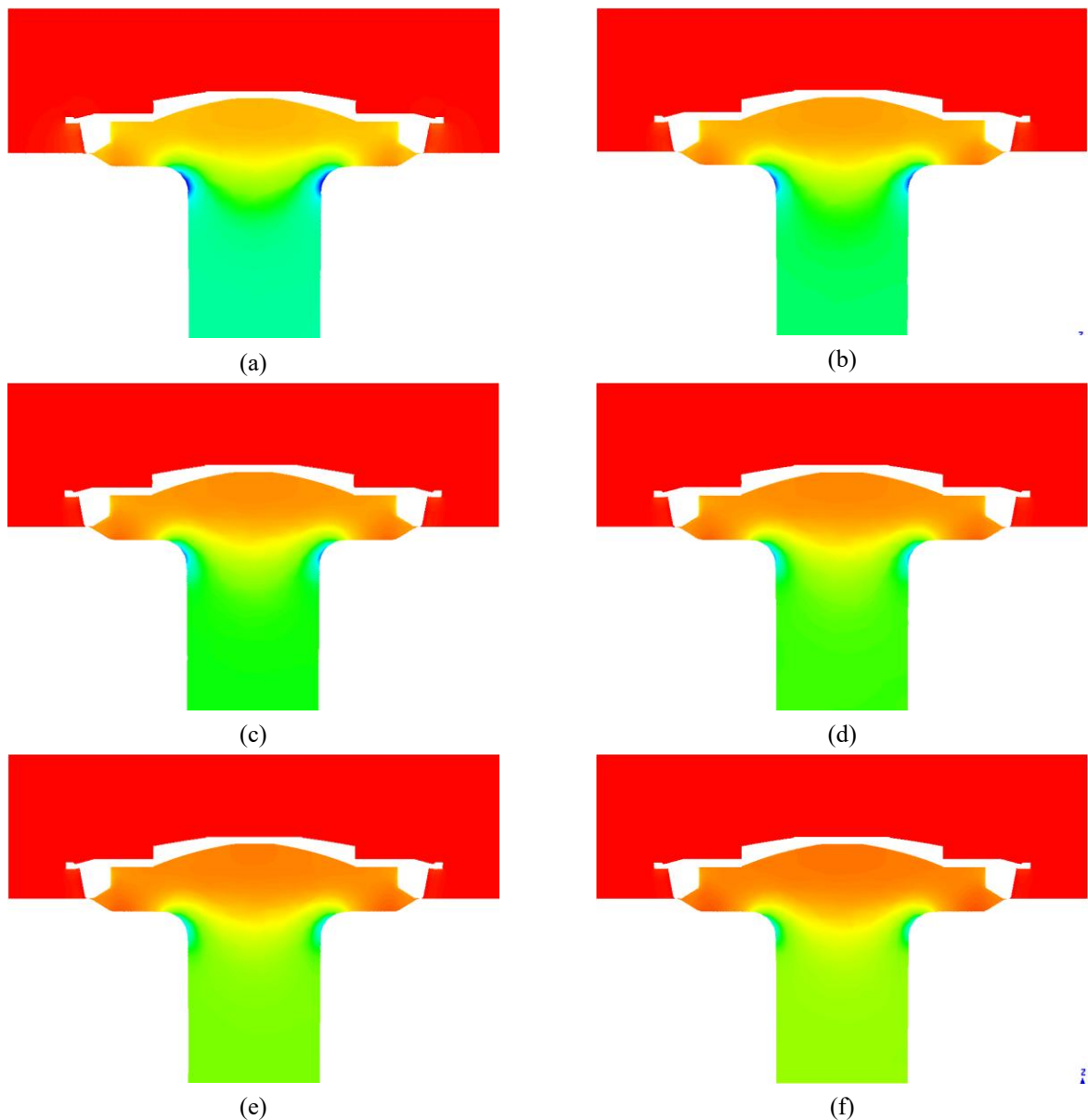


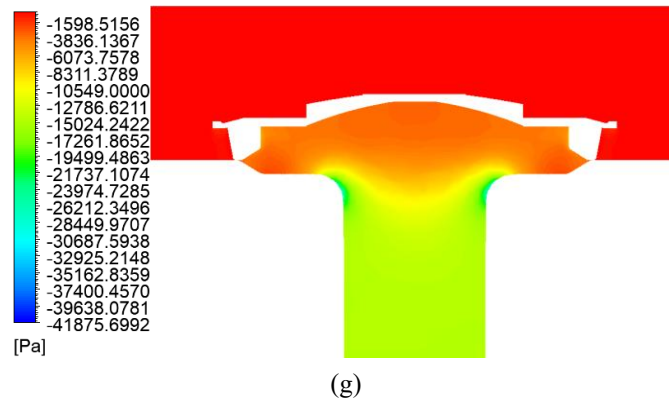
(c)

Gambar 11. (a) potongan AA (b) potongan BB (c) potongan CC

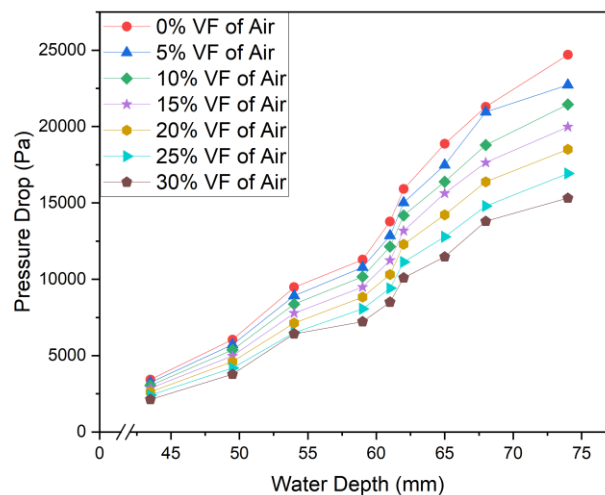
3.4 Medan aliran pada SRO tipe NOFMIF (Tekanan)

Gambar 12 memperlihatkan hasil simulasi numerik berupa *pressure contour*. Hasil simulasi numerik memperlihatkan bahwa peningkatan debit mempengaruhi tekanan di dalam SRO. Kontur diambil pada perpotongan penampang XZ dengan posisi tepat pada sumbu utama (simetri). Hasil simulasi menunjukkan semakin tinggi debit yang dialirkan melalui SRO, maka tekanan yang terjadi di dalam SRO akan semakin kecil (tekanan negatif semakin meningkat). Apabila ketinggian air (h) berada pada posisi diatas *baffle plate*, maka tekanan yang terjadi di dalam SRO khususnya dibawah *baffle plate* menjadi meningkat dengan distribusi tekanan dari arah inlet ke pusat SRO cenderung menurun (tekanan negatif semakin besar). Kandungan udara akan mempengaruhi tekanan di dalam SRO. Apabila kandungan udara di dalam SRO meningkat, maka tekanan di dalam SRO juga akan meningkat (tekanan negatif menjadi berkurang). Gambar 17 menunjukkan analisis lebih jelas mengenai perubahan *pressure drop* pada variasi fraksi udara. Peningkatan fraksi udara mempengaruhi penurunan massa jenis campuran yang menyebabkan tekanan menurun.





Gambar 12 Pressure Contour pada Water Depth 74 mm untuk kasus (a) 0% udara, (b) 5% udara, (c) 10 % udara, (d) 15% udara, (e) 20% udara, (f) 25% udara, dan (g) 30% udara



Gambar 13 Pressure Drop

4. Kesimpulan

Penelitian ini difokuskan kepada SRO eksisting tipe *non-bowl, fin, laminar flow* dengan *baffle plate* berbentuk *concave-circular* yang selanjutnya pada penelitian ini digunakan istilah SRO tipe NOFMIF. Konfigurasi model numerik dari sistem siphonik yang diteliti adalah *single outlet configuration*. Tujuan penelitian ini adalah melakukan investigasi medan aliran pada SRO tipe NOFMIF terhadap variasi kandungan udara 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% melalui analisis numerik dengan metoda *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Hasil simulasi numerik kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Hasil simulasi numerik memperlihatkan tren debit yang sama dengan hasil eksperimen. Untuk tingkat kandungan udara 0% didapatkan *average error* sebesar 3,40%, tingkat kandungan udara 5% didapatkan *average error* sebesar 2,28%, tingkat kandungan udara 10% didapatkan *avarege error* sebesar 2,23%, tingkat kandungan udara 15% didapatkan *avarege error* sebesar 0,97%, tingkat kandungan udara 20% didapatkan *avarege error* sebesar 1,92%, tingkat kandungan udara 25% didapatkan *avarege error* sebesar 3,37%, dan tingkat kandungan udara 30% didapatkan *avarege error* sebesar 6,89%. Peningkatan fraksi udara juga mempengaruhi tekanan di dalam SRO dengan tingkat penurunan tekanan rata-rata sebesar 0.079% untuk setiap kenaikan 5% fraksi udara. Laju aliran juga mengalami penurunan rata-rata sebesar 0.02% untuk setiap kenaikan 5% fraksi udara. Tingkat laju aliran mempengaruhi *Turbulence Kinetic Energy (TKE)*, dimana intensitas turbulensi mengalami penurunan rata-rata 0.048% untuk setiap kenaikan 5% fraksi udara. Peningkatan ketinggian air (*h*) di atas SRO akan menyebabkan debit pada SRO meningkat. Tekanan yang terjadi akibat peningkatan

debit adalah tekanan negatif. Apabila debit meningkat, maka tekanan negatif di dalam SRO akan meningkat. Tingkat kandungan udara mempengaruhi tekanan di dalam SRO, dimana apabila tingkat kandungan udara di dalam SRO meningkat, maka tekanan negatif menurun.

Peningkatan debit mempengaruhi kecepatan di dalam SRO. Apabila debit meningkat, maka kecepatan di dalam SRO juga akan meningkat. Tingkat kandungan udara mempengaruhi kecepatan di dalam SRO, dimana, apabila tingkat kandungan udara di dalam SRO meningkat, maka kecepatan akan menurun.

Pola aliran pada SRO juga memperlihatkan fenomena yang sama dari penelitian sebelumnya yaitu terjadi konsentrasi udara di bawah *baffle plate* yang berbentuk *circular-concave*. Berdasarkan analisis numerik terbukti bahwa penggunaan *fin* pada SRO Tipe NOFMIF menyebabkan aliran dibawah *baffle plate* menuju ke pipa menjadi laminar.

5. Daftar Pustaka

- [1] P. Sommerhein, "Design Parameter for Roof Drainage Systems," *Water Supply and Drainage for Buildings CIB W62, International Council for Building Research*, 1999.
- [2] R. W. P. May and M. Escarameia, "Performance of Siphonic Drainage Systems for Roof Gutters," Wallingford, UK, 1996.
- [3] S. Arthur and G. B. Wright, "Recent and future advances in roof drainage design and performance," *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 26, no. 4, pp. 337–348, 2005, doi: 10.1191/0143624405bt127tn.
- [4] S. Beecham and T. Lucke, "Air water flows in building drainage systems," *Urban Water J*, vol. 12, no. 6, pp. 455–467, Aug. 2015, doi: 10.1080/1573062X.2013.820335.
- [5] Bramhall Martyn A, "The Performance of Syphonic Rainwater Outlets within Gutters," Sheffield, England, 2005. [Online]. Available: www.bl.uk
- [6] G. Wright, J. Swaffield, and S. Arthur, "The performance characteristics of multi-outlet siphonic roof drainage systems," *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 23, no. 3, pp. 127–141, Oct. 2002, doi: 10.1191/0143624402br041oa.
- [7] S. Arthur, B. Eng, J. A. Swaffield, B. Mphil, P. Mraes, and F. Mcibse, "Numerical modelling of the priming of a siphonic rainwater drainage system," *CIBSE Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 20, no. 2, pp. 83–91, 1999.
- [8] T. Lucke and S. Beecham, "Capacity loss in siphonic roof drainage systems due to aeration," *Building Research and Information*, vol. 38, no. 2, pp. 206–217, Mar. 2010, doi: 10.1080/09613210903236631.
- [9] S. Arthur and G. B. Wright, "Recent and future advances in roof drainage design and performance," *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 26, no. 4, pp. 337–348, 2005, doi: 10.1191/0143624405bt127tn.
- [10] S. Arthur and J. A. Swaffield, "Siphonic roof drainage: current understanding," *Urban Water*, vol. 3, pp. 43–52, 2001.
- [11] S. Arthur and J. A. Swaield, "Siphonic roof drainage system analysis utilising unsteady yow theory," *Build Environ*, vol. 36, pp. 939–948, 2001.
- [12] T. Lucke and S. Beecham, "Aeration and gutter water levels in siphonic roof drainage systems," *Building Research and Information*, vol. 38, no. 6, pp. 670–685, Sep. 2010, doi: 10.1080/09613218.2010.503050.
- [13] M. Buitenhuis, "Flow Phenomena of a Siphonic Roof Outlet," *Proceedings of Water Supply and Drainage for Buildings CIB W062*, 2011.
- [14] Y. Bi, H. Bi, H. Wang, Y. Zhou, R. Wan, and Y. Xie, "Experimental and numerical study on operational characteristics of a single outlet siphonic drainage system in large public buildings," *Physics of Fluids*, vol. 35, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.1063/5.0132041.

-
- [15] J. A. Slater, G. Cockerham, and P. D. Williams, "Loss Factors in Syphonic Roof Drainage," *Water Supply and Drainage for Buildings CIB W62*, 1999.
- [16] A. Öngören and R. Materna, "Multi-phase flow characteristics of a siphonic roof drainage system under part load conditions," *CIB W062 Symposium, International Council for Building Research*, 2006.
- [17] I. B. Celik, U. Ghia, P. J. Roache, C. J. Freitas, H. Coleman, and P. E. Raad, "Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications," *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, vol. 130, no. 7, pp. 0780011–0780014, Jul. 2008, doi: 10.1115/1.2960953.