

## Studi Numerik Pengaruh Putaran Impeler dan Bukaannya Damper Induce Draft (ID) Fan pada Pabrik Semen

Nur Ikhwan, Suwarmin, Is Bunyamin Suryo

Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS Keputih, Sukolilo-Surabaya 60111, Indonesia  
E-mail : isbunjamin@me.its.ac.id

### Abstrak

Fan dalam industri semen sebagai peralatan utilitas dalam proses produksi. Fungsi dari fan tersebut untuk mendukung proses klasifikasi atau separasi material yang kasar dan halus. Gaya tarik (*induce*) dari fan digunakan untuk menghisap campuran material (padat) & udara dari *raw mill*. Proses pemisahan material padat dari udara terjadi pada *cyclone*. Keluar dari *cyclone*, udara diharapkan sudah relatif bersih dari material padat sehingga tidak mengganggu proses di fan. Kondisi kerja ID Fan di salah satu Pabrik Semen yang berlokasi di Jawa Timur dioperasikan dengan memvariasikan derajat (sudut) bukaan damper agar mendapatkan tekanan dan debit yang sesuai. ID Fan tersebut dioperasikan pada sudut bukaan damper sebesar 41%, menghasilkan debit sebesar 167 kg/s. Hal ini menyebabkan kerugian tekanan (*head loss*) pada damper meningkat sehingga fan beroperasi dalam kondisi tidak efisien. Kajian numerik ini dilakukan dalam rangka untuk meningkatkan efisiensi fan dengan melakukan variasi putaran impeler dan bukaan damper ID Fan. Kajian numerik ini menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) Computational Fluid Dynamics (CFD). Domain komputasi merupakan model 3 dimensi (3D), terdiri dari 995609 *cells* dan 1069745 *nodes*. Simulasi dilakukan pada kondisi *steady* dengan *Standard k-epsilon* sebagai *turbulence model*. Algoritma SIMPLE dipilih sebagai metode untuk *Pressure-Velocity Coupling*. Batas kondisi untuk sisi *inlet* maupun *outlet* ID Fan adalah *pressure-inlet* dan *pressure-outlet*. Batas maksimum *residual error* yang diijinkan adalah  $10^{-4}$ . Putaran ID Fan pada simulasi ini divariasikan sebesar 980 rpm dan 622 rpm. Bukaan damper ID Fan juga divariasikan sebesar 41%, 80%, dan 100%. Hasil simulasi ini dibandingkan dengan data pada buku panduan dari *fan manufacturer*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada putaran impeler sebesar 622 rpm dan bukaan damper antara 80% hingga 100% diperkirakan atau diprediksi ID Fan mampu menghasilkan debit yang sama dengan kondisi operasi awal, putaran impeler 980 rpm dan bukaan damper 41%. Dengan penurunan putaran impeler dan berkurangnya hambatan aliran udara akibat bukaan damper yang lebih besar maka energi yang dikonsumsi untuk pengoperasian ID Fan akan menurun. Dengan demikian akan diperoleh penghematan biaya operasi ID Fan.

**Keywords:** ID Fan, putaran impeler, bukaan damper, debit.

### Pendahuluan

Fan adalah salah satu komponen penting dalam proses pembuatan semen. Berdasarkan dari fungsinya, fan dibedakan menjadi dua tipe. Tipe pertama adalah fan yang berfungsi untuk meniup/menghembuskan udara (*Blowing Fan*), umumnya digunakan untuk menurunkan temperatur ruangan. Tipe kedua adalah fan yang berfungsi untuk menghisap udara (*Exhaust Fan*). *Raw Mill Fan* termasuk tipe fan kedua yang berfungsi menghisap campuran udara dan material dari *Classifier* untuk kemudian dipisahkan oleh *Cyclone Separator*. Fan dalam industri semen sebagai peralatan utilitas dalam proses produksi. Fungsi dari fan tersebut untuk mendukung proses klasifikasi atau separasi material yang kasar dan halus. Gaya tarik (*induce*) dari fan digunakan untuk menghisap campuran material

(padat) & udara dari *raw mill*. Proses pemisahan material padat dari udara terjadi pada *cyclone*. Keluar dari *cyclone*, udara diharapkan sudah relatif bersih dari material padat sehingga tidak mengganggu proses di fan. Kondisi kerja ID Fan di salah satu Pabrik Semen yang berlokasi di Jawa Timur dioperasikan dengan memvariasikan derajat (sudut) bukaan damper agar mendapatkan tekanan dan debit yang sesuai. ID Fan tersebut dioperasikan pada sudut bukaan damper sebesar 41%, menghasilkan debit sebesar 167 kg/s. Hal ini menyebabkan kerugian tekanan (*head loss*) pada damper meningkat sehingga fan beroperasi dalam kondisi tidak efisien. Penelitian ini berdasarkan besarnya konsumsi listrik oleh ID Fan akibat ketidakefisienan tersebut. Untuk mengurangi konsumsi daya listrik maka perlu dilakukan modifikasi operasional fan tersebut. Penelitian ini mencoba

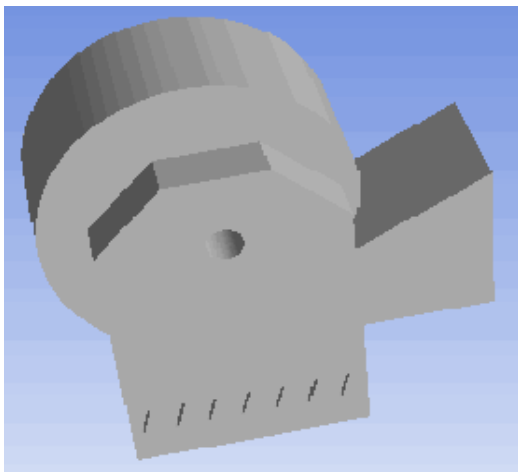
mengkaji pengaruh perubahan putaran fan dan variasi bukaan damper terhadap unjuk kerja ID Fan.

ID Fan yang dikaji memiliki spesifikasi (kondisi kerja) dengan debit optimum sebesar 167 kg/s. Dalam pengoperasiannya, ID Fan diperlukan untuk mensuplai debit yang lebih kecil dari dari kapasitas optimumnya sebesar 150 kg/s. Pengurangan kapasitas ID Fan dapat dilakukan dengan mengatur sudut bukaan damper atau mengurangi putaran motor. Pengaturan bukaan damper memiliki kerugian energi karena prinsip damper adalah menambah hambatan (*frictional losses*) yang menyerap energi aliran dan menyebabkan debit aliran berkurang. Hal ini akan membuang sebagian energi menjadi losses. Di sisi lain, pengurangan putaran motor akan menghilangkan kerugian energi tersebut, tetapi akan menaikkan biaya investasi karena fan membutuhkan peralatan tambahan..

### Metode Eksperimen

Kajian numerik ini menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) Computational Fluid Dynamics (CFD). Simulasi pada ID fan dilakukan dengan domain simulasi seperti ditunjukkan Gambar 1. Daerah poros diabaikan karena tidak dilalui aliran fluida. Batasan simulasi yang digunakan adalah:

- Aliran steady
- Aliran bersifat turbulen
- Perpindahan panas diabaikan
- Tidak melakukan analisa perubahan efisiensi fan
- Aliran simetri pada daerah tengah ID Fan
- Energi aliran didapat dari putaran impeler
- Inlet kondisi atmosfer dengan debit menyesuaikan tekanan vakum yang dihasilkan oleh impeler
- Outlet kondisi atmosfer dengan debit menyesuaikan tekanan vakum yang dihasilkan oleh impeler
- Data validasi yang digunakan adalah data hasil running test dan performance test



Gambar 1. Domain simulasi ID Fan.

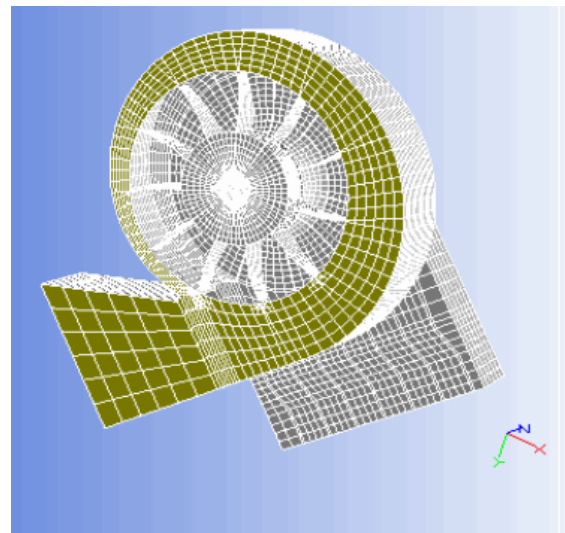
Berdasarkan domain di atas dibuat meshing (diskretisasi domain) pada daerah setengah dari domain. Gambar 2 menunjukkan meshing untuk domain yang dimaksud. Domain komputasi terdiri dari 995609 *cells* dan 1069745 *nodes*. Kondisi batas (*boundary condition*) untuk simulasi ditunjukkan oleh Gambar 3. Nilai kondisi batas adalah sebagai berikut:

- Tekanan inlet = 1 atm
- Tekanan outlet = 3000 Pa (gage)
- Putaran impeler = 980 dan 622 rpm

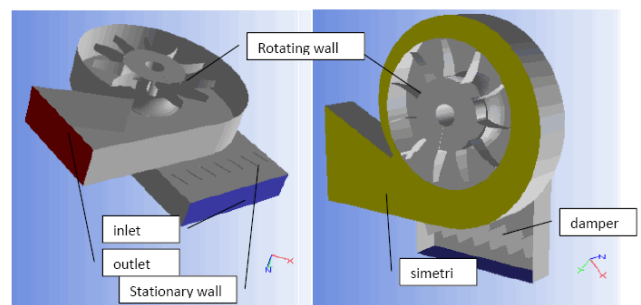
Variasi simulasi terdiri dari:

- Putaran 980 dan 622 rpm
- Bukaan damper sebesar: 100%, 80% dan 41%

Simulasi dilakukan pada kondisi *steady* dengan *Standard k-epsilon* sebagai *turbulence model*. Algoritma SIMPLE dipilih sebagai metode untuk *Pressure-Velocity Coupling*.



Gambar 2. Meshing untuk domain ID Fan.



Gambar 3. Kondisi batas untuk simulasi ID Fan.

### Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi pada putaran 980 rpm terdiri dari kondisi bukaan damper 100%, 80% dan 41%. Hasil simulasi pada kondisi bukaan damper 100% digunakan sebagai validasi akurasi simulasi dengan

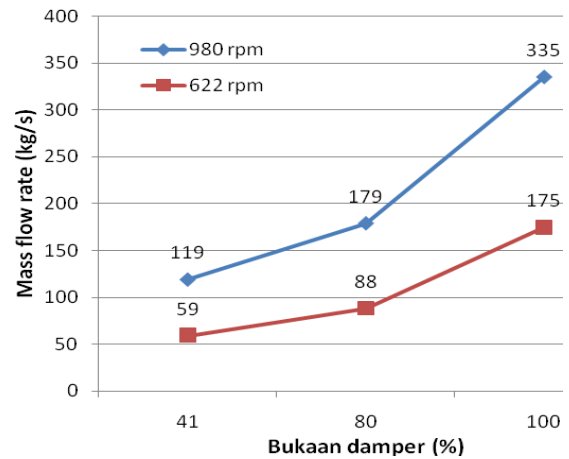
membandingkan dengan hasil running test. Beberapa perbaikan seperti: local grid refinement, pengaturan nilai sensitifitas (SOR) dan pemilihan pemodelan turbulensi; telah dilakukan untuk mendapatkan hasil yang akurat. Setelah mendapatkan hasil yang akurat pada bukaan damper 100%, variasi yang lain yaitu sudut bukaan damper 80% dan 41% disimulasikan pada putaran 980 rpm. Setelah itu simulasi dilakukan untuk semua bukaan damper pada putaran 622 rpm.

Ringkasan dari pengaruh variasi putaran dan bukaan damper terhadap debit dan tekanan fan disajikan di Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh variasi putaran dan bukaan damper terhadap debit dan tekanan fan.

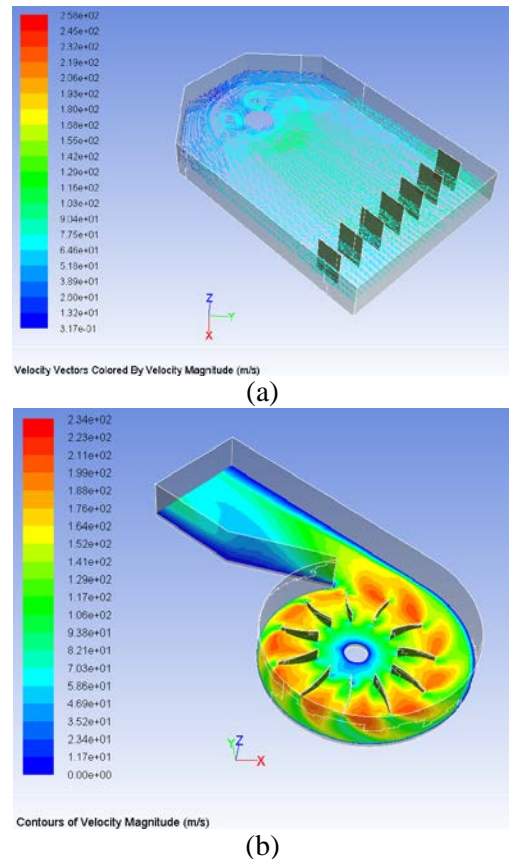
Bukaan damper (%)	Putaran (rpm)	Tekanan (Pa)		mass flow rate (kg/s)
		inlet	outlet	
41	980 rpm	-334	3000	119
80		-717	3000	179
100		-2502	3000	335
41	622 rpm	-84	3000	59
80		-173	3000	88
100		-681	3000	175

Gambar 4 menjelaskan trend (kecenderungan) adanya penurunan debit yang gradual terhadap sudut bukaan damper yang semakin kecil. Penurunan putaran dari 980 ke 622 rpm menghasilkan penurunan yang tajam. Proses validasi terhadap simulasi dilakukan dengan membandingkan dengan performance curve dari manufacturer fan (ABB Solyvent Ventec). Design point berada pada posisi bukaan damper 90% menghasilkan debit sebesar 753000 m<sup>3</sup>/h atau setara dengan 167 kg/s. Operating point berada pada bukaan damper sekitar 58% dengan debit sebesar 646000 m<sup>3</sup>/h atau setara dengan 150 kg/s. Jika dibandingkan dengan hasil simulasi, perbedaan yang terjadi cukup kecil. Artinya hasil simulasi sudah cukup valid untuk memprediksi perubahan aliran di fan. Berdasarkan pada kebutuhan debit operasional sebesar 150 kg/s dan hasil simulasi ini, pengaturan debit yang optimum adalah putaran impeler sebesar 622 rpm dan bukaan damper antara 80% hingga 100%. Pada kondisi operasional tersebut diperkirakan atau diprediksi ID Fan mampu menghasilkan debit yang sama dengan kondisi operasi awal, putaran impeler 980 rpm dan bukaan damper 41%.

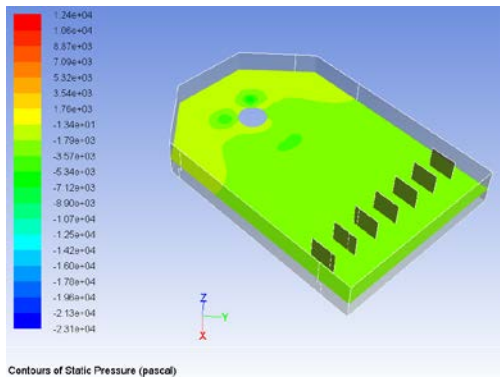


Gambar 4. Pengaruh variasi putaran dan bukaan damper terhadap debit fan.

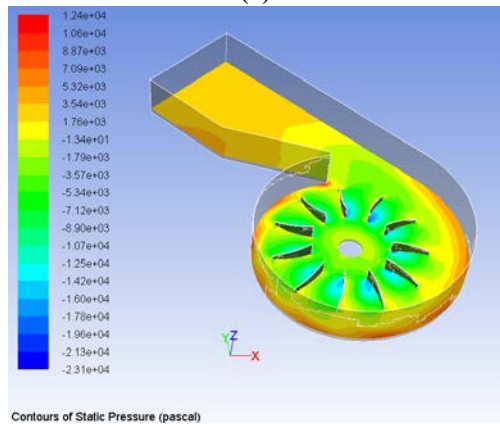
Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 4, perubahan bukaan damper dari 100% sampai dengan 80% menghasilkan penurunan debit yang kecil, tetapi sudut bukaan 41% menghasilkan penurunan debit yang besar. Kondisi ini berlaku pada kedua variasi putaran. Pada posisi damper terbuka penuh (100%), aliran masuk mengalami sedikit hambatan di damper (Gambar 5). Hal ini menyebabkan kerugian tekanan (frictional losses) yang kecil (Gambar 6). Kenaikan kecepatan dan penurunan tekanan statis di sekitar impeler disebabkan oleh efek putaran impeler.



Gambar 5. Distribusi kecepatan di (a) sisi inlet dan (b) sisi casing fan/discharge) pada bukaan damper 100%.

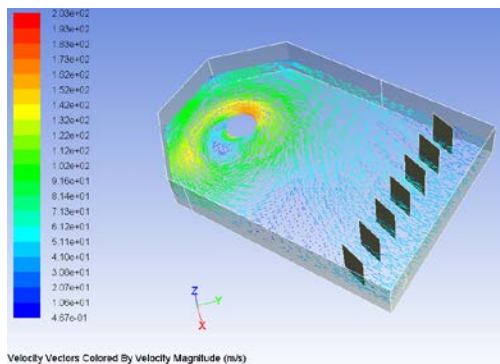


(a)

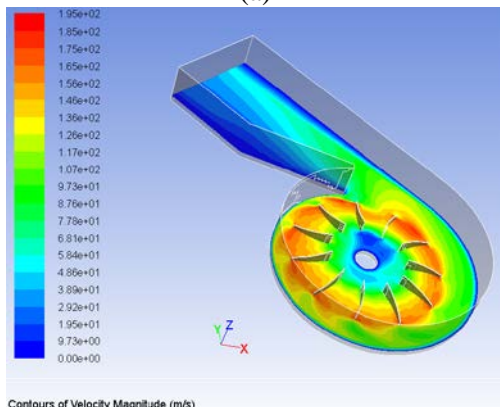


(b)

**Gambar 6.** Distribusi tekanan di (a) sisi inlet dan (b) sisi casing fan/discharge) pada bukaan damper 100%.



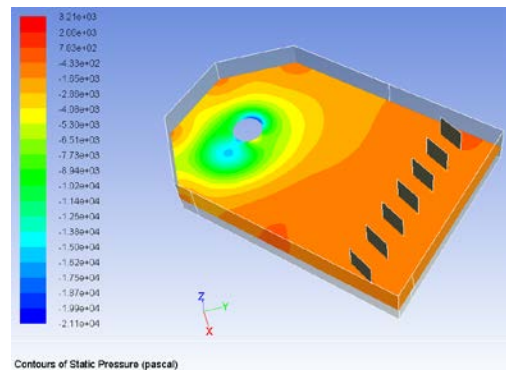
(a)



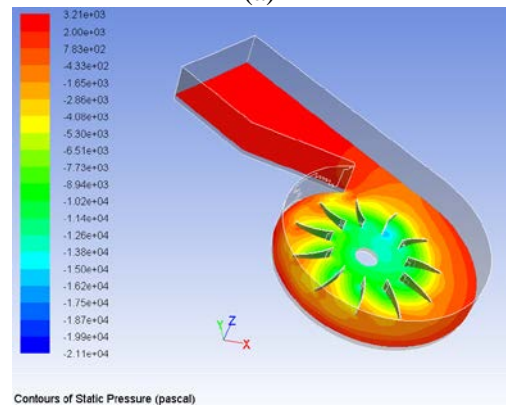
(b)

**Gambar 7.** Distribusi kecepatan di (a) sisi inlet dan (b) sisi casing fan/discharge) pada bukaan damper 80%.

Gambar 7 dan 8 menunjukkan hasil simulasi pada bukaan damper 80%. Pada posisi bukaan damper sebesar 80%, aliran masuk dengan mengalami sedikit hambatan ketika melalui damper dan sedikit terdefleksi ke arah kanan (jika kita menghadap sesuai arah aliran masuk, Gambar 6). Defleksi aliran yang kecil menyebabkan udara masuk ke sisi kanan impeler lebih cepat/mudah dan sisi kiri debitnya berkurang. Hal ini menyebabkan perbedaan debit dengan bukaan 100% cukup kecil. Selain itu, pada bukaan 80% terlihat mulai muncul pusaran sisi kiri masuk impeler.



(a)

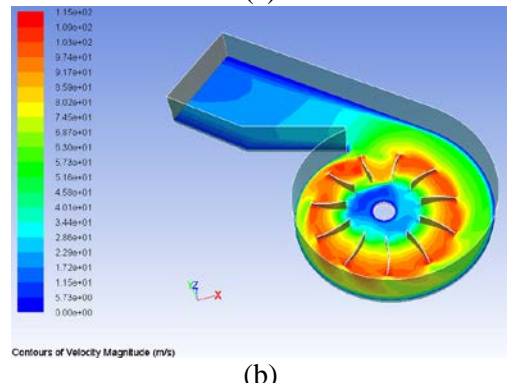
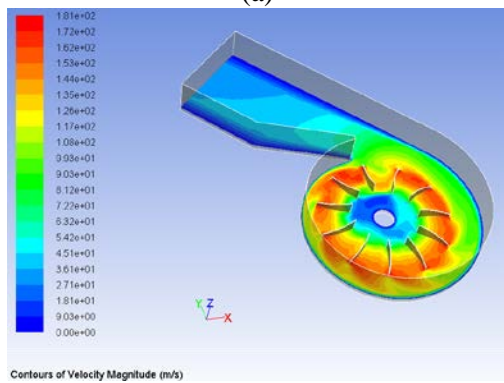
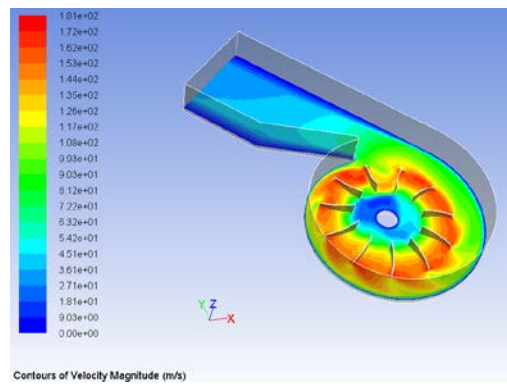
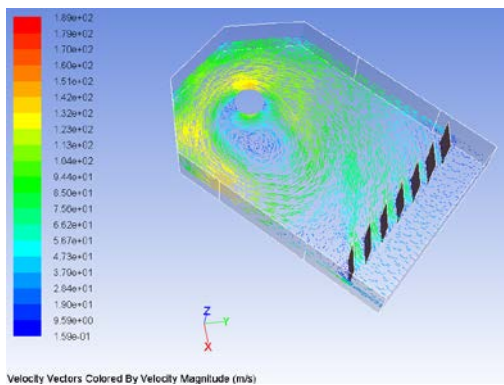


(b)

**Gambar 8.** Distribusi tekanan di (a) sisi inlet dan (b) sisi casing fan/discharge) pada bukaan damper 80%.

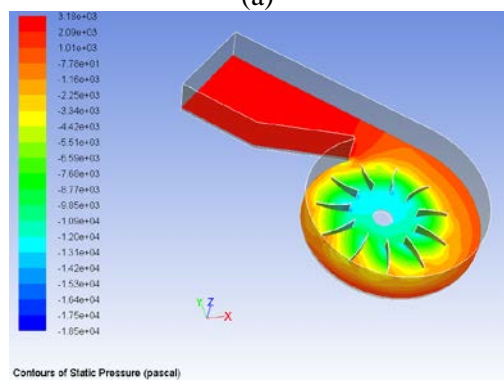
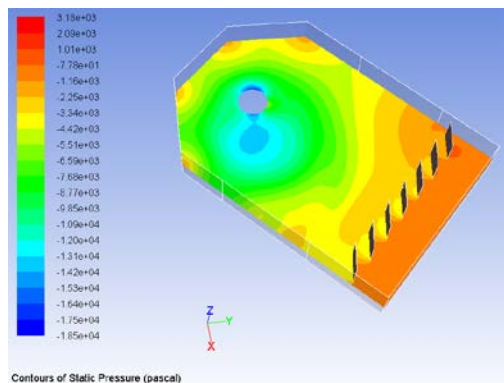
Gambar 9 dan 10 menunjukkan hasil simulasi pada bukaan damper 41%. Pada bukaan damper 41%, pada saat melalui damper aliran terdefleksi cukup tajam ketika memasuki fan. Hal ini menyebabkan timbulnya pusaran yang kuat di dalam saluran dan menyebabkan aliran udara yang memasuki impeler berkurang drastis. Gambar 11 menjelaskan perubahan putaran impeler. Penurunan putaran dari 980 ke 622 rpm menyebabkan inersia aliran sekitar impeler berkurang. Jika kecepatan maksimum pada putaran 980 rpm adalah 189 m/s, kecepatan maksimum pada putaran 622 rpm sebesar 122 m/s. Hal ini menyebabkan kemampuan hisap fan akan berkurang cukup signifikan.





**Gambar 9.** Distribusi kecepatan di (a) sisi inlet dan (b) sisi casing fan/discharge) pada bukaan damper 41%.

**Gambar 11.** Distribusi kecepatan pada sisi casing fan dengan bukaan damper 41% dan putaran (a) 980 rpm dan (b) 622 rpm.



**Gambar 10.** Distribusi tekanan di (a) sisi inlet dan (b) sisi casing fan/discharge) pada bukaan damper 41%.

**Kesimpulan**

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada putaran impeler sebesar 622 rpm dan bukaan damper antara 80% hingga 100% diperkirakan atau diprediksi ID Fan mampu menghasilkan debit yang sama dengan kondisi operasi awal, putaran impeler 980 rpm dan bukaan damper 41%. Dengan penurunan putaran impeler dan berkurangnya hambatan aliran udara akibat bukaan damper yang lebih besar maka energi yang dikonsumsi untuk pengoperasian ID Fan akan menurun. Dengan demikian akan diperoleh penghematan biaya operasi ID Fan.

**Referensi**

Fox, R., Mc Donalds, A.T., Introduction to Fluid Mechanics, Fourth Edition, John Wiley Inc, 1994.

Versteeg, H.K, Malalasekera, W., An Introducton to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method, Longman Scientific & Technical, 1995.

Gordenw, D., The Design of High Efficient Turbomachinery & Gas Turbines, MIT Press, England, 1997.

Fluent Inc, FLUENT MANUAL 5.14, 1998.