

KAJI NUMERIK PENGARUH RADIUS IMPELER DAN PANJANG SUDU TERHADAP KINERJA SEBUAH POMPA REGENERATIF

*Mohamad Farel¹, Nazarudin Sinaga², Bambang Yuniyanto²

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: farelmohamad@students.undip.ac.id

Abstrak

Pompa regeneratif adalah sebuah jenis pompa kinetik dengan karakteristik yang dapat menghasilkan head yang tinggi pada posisi debit aliran yang rendah serta banyak digunakan di berbagai tingkat, mulai dari keperluan rumah tangga, hingga industri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh dari beberapa variasi geometri dari sudu impeller pompa terhadap kinerja tekanan total dan efisiensi yang dihasilkan pompa. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode CFD menggunakan model komputasi pompa yang diteliti, yaitu pompa Shimizu 128-BIT. Tahap pertama dari penelitian adalah pengambilan data eksperimen berupa debit, tekanan, kecepatan putaran, dan daya pompa menggunakan alat uji pompa, dimana data tersebut digunakan untuk proses validasi. Variasi geometri yang disimulasikan berupa jari-jari impeller dan panjang sudu yang disimulasikan pada kondisi kecepatan putar impeller 2300 RPM dan debit 10 – 18 LPM. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh pengurangan panjang sudu dan jari-jari impeller menunjukkan penurunan yang signifikan pada head serta efisiensi pompa.

Kata kunci: *cfD; head pompa; pompa regenerative; vortisitas fluida*

Abstract

Regenerative pumps are a type of kinetic pump with characteristics that can produce high heads at low flow positions and are widely used at various levels, from household to industrial purposes. The aim of this research is to identify the effect of several geometric variations of the pump impeller blade on the total pressure performance and efficiency produced by the pump. This research was carried out using the CFD method using a computational model of the pump under study, namely the Shimizu 128-BIT pump. The first stage of the research involved collecting experimental data in the form of discharge, pressure, rotation speed, and pump power using pump test equipment, where this data was used for the validation process. The simulated geometric variations are impeller radius and the blade length, which are simulated under conditions of impeller rotation speed of 2300 RPM and flow rate of 10–18 LPM. The research results show that reducing blade length and impeller radius shows a significant reduction in head and pump efficiency.

Keywords: *cfD; fluid vortices; pump head; regenerative pump*

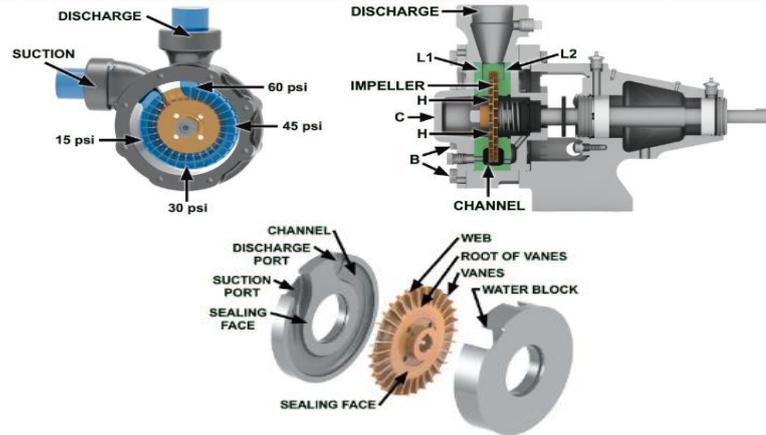
1. Dasar Teori

Dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini meliputi:

1.1 Pompa Regeneratif

Pompa regeneratif bekerja dengan mendorong fluida di dalam pompa yang bergerak secara spiral pada saluran. Fluida kemudian kembali ke bilah impeller beberapa kali di jalur periferalnya dari inlet ke volut pompa.

Setiap bilah impeller memiliki tekanan yang meningkat. Dengan sumbu heliks melengkung dan sejajar dengan keliling impeller, vortisitas terbentuk di kedua sisi baling-baling impeller. Semua pompa ini melewati impeller hanya sekali, sehingga memiliki semua energi yang ditambahkan saat melewati bilah pompa. Sebaliknya, pompa turbin regeneratif memutar impeller berkali-kali, membuat energi kinetik cairan meningkat setiap kali melewati sudu, memungkinkan fluida menghasilkan lebih banyak gaya.[1]



Gambar 1. Pompa Regeneratif [2]

1.2 Head Pompa

Head pompa didefinisikan sebagai energi per satuan berat yang harus dikeluarkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang disesuaikan dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang pada umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. [3]

$$\Delta hp = \frac{Pd - Ps}{\gamma}$$

Dimana : Δhp : Head tekanan (m)
 Pd : Tekanan saat fluida keluar dari pompa (Pa)
 Ps : Tekanan saat fluida masuk dari pompa (Pa)
 γ : Berat jenis (N/m³)

1.3 Debit

Debit merupakan kecepatan perpindahan fluida dalam satuan waktu [3], dimana debit dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = A.V$$

Dimana: V : Kecepatan aliran fluida (m/s)
 Q : Debit air (m³/s)
 A : Luas penampang (m²)

1.4 Daya

Daya pompa adalah besarnya energi persatuan kecepatan atau waktu. Dua jenis daya terdiri dari daya pompa, diantara lain adalah daya hidrolik dan daya poros.

Daya yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair disebut daya hidrolik atau daya pompa teoritis. Daya ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.:

$$PH = \rho . g . H . Q$$

Dimana : PH : Daya hidrolik pompa (W)
 Q : Debit pompa (m³/s)
 H : Total head pompa (m)
 ρ : Densitas cairan (kg/m³)
 g : Percepatan gravitasi (m/s²)

Untuk mengatasi kerugian daya yang diperlukan pada poros yang sesungguhnya adalah lebih besar dari pada daya hidrolik [4]. Besarnya daya poros sesungguhnya adalah sama dengan efisiensi pompa atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PS = \frac{2 . \pi . N . \tau}{60} = \omega . \tau$$

Dimana : PS : Daya poros pompa (W)

N : Putaran poros (RPM)
 ω : Kecepatan sudut (rad/s)
 τ : Torsi (Nm)

1.5 Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa adalah perbandingan antara daya hidrolis pompa dengan daya poros pompa.

$$\eta = \frac{PH}{PS}$$

Dimana : η : Efisiensi pompa (%)
 PH : Daya hidrolis pompa (W)
 PS : Daya poros pompa (W)

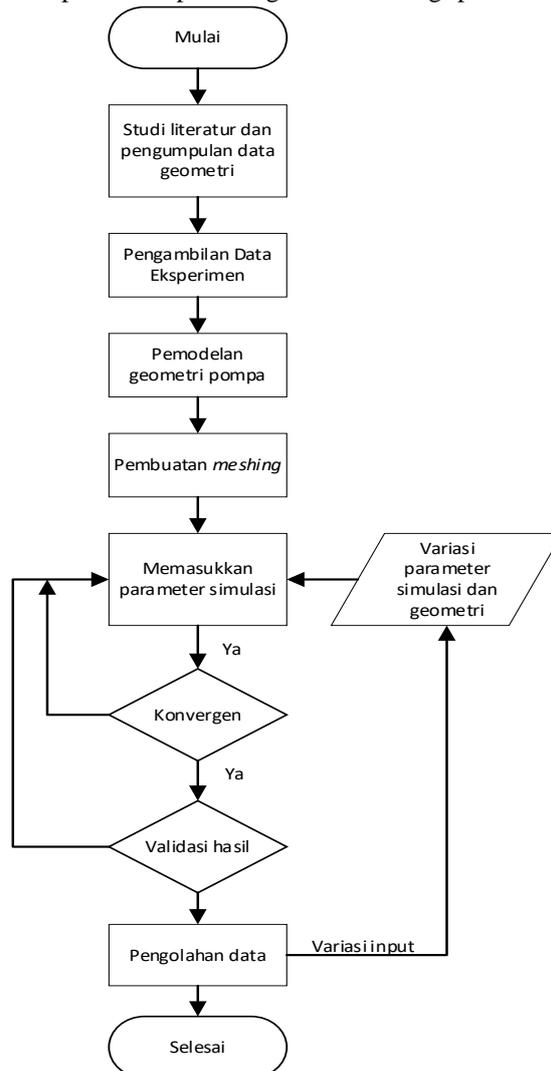
1.6 *Computational Fluid Dynamic (CFD)*

Computational fluid dynamics (CFD) adalah ilmu yang dapat memecahkan masalah numerik dengan menggunakan persamaan pembangun matematika untuk memprediksi aliran fluida, perpindahan panas dan massa, reaksi kimia, dan fenomena lainnya.

CFD digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari industri hingga non-industri, seperti aerodinamika pada kendaraan (drag dan lift), pembakaran internal combustion engine, pendinginan sirkuit elektrik, dan aliran darah melalui arteri dan vena. Dalam perangkat CFD, ada algoritma numerik yang digunakan untuk mengevaluasi masalah aliran fluida. Pre-processor, solver, dan post-processor merupakan tiga bagian paket dari CFD, yang dirancang untuk memudahkan pengoperasiannya selama proses input data dan pemeriksaan hasilnya.

2. Metode Penelitian

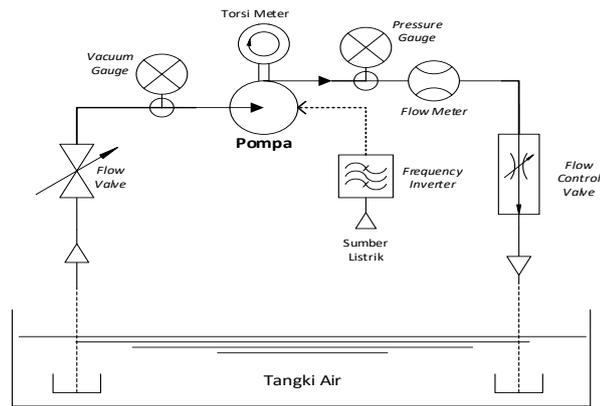
Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram metodologi penelitian pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Metodologi Penelitian

2.1 Tahap Eksperimen

Skema alat uji pompa dapat dilihat pada Gambar 3.

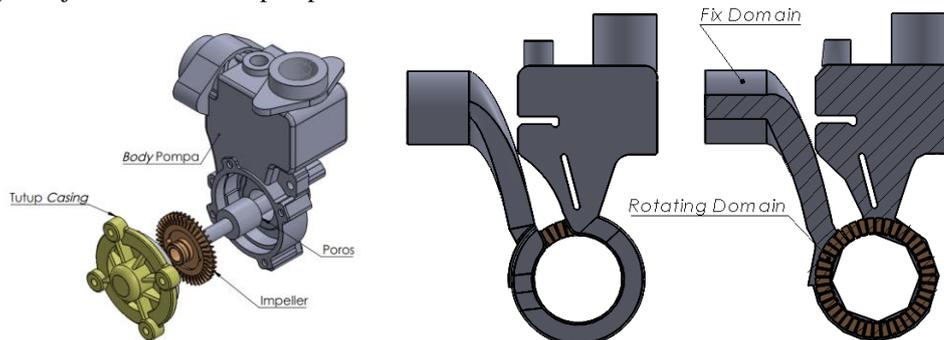


Gambar 3. Skema Alat Uji Pompa

Eksperimen ini menggunakan variabel terikat seperti kecepatan putar impeller dan debit aliran untuk mengumpulkan data tentang tekanan total head, debit, daya poros, dan putaran impeller pompa regeneratif. Eksperimen pada 2300 RPM dan debit 9–16 LPM divalidasi setelah beberapa eksperimen. [5]

2.2 Tahap Pembuatan Geometri

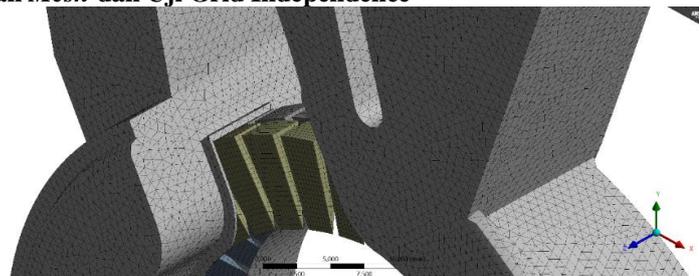
Model 3D untuk pompa Shimizu 128-BIT dibuat dengan memanfaatkan aplikasi Solidwork 2020. Model geometri pompa dibagi menjadi empat bagian yaitu bagian *body* pompa, bagian tutup *casing*, dan bagian poros yang selanjutnya di-*assembly* menjadi satu kesatuan pompa.



Gambar 4. Model 3D dan Model *Conjugate* Pompa

Ketika mensimulasikan CFD, model komputasi yang dimanfaatkan adalah model *conjugate* dari pompa, model yang kedepannya akan dijadikan domain fluida (*fluid domain*) yang membuat model ini akan mewakili ruangan dalam pompa yang diisi oleh fluida. model domain fluida selanjutnya ditambahkan dengan *extended inlet* dan *extended outlet* dengan masing-masing panjangnya sebesar 0.5 m di bagian inlet dan outlet pompa. Model komputasi dibedakan menjadi dua bagian, antara lain dibedakan menjadi *fix domain* dan *rotating domain* seperti pada Gambar 3. Model komputasi ini dibagi dengan maksud agar adanya kondisi batas (*boundary condition*) kecepatan sudut pada *rotating domain* serta menyediakan metode grid yang berbeda pada kedua domain [6].

2.3 Tahap Penggenerasian *Mesh* dan Uji *Grid Independence*



Gambar 5. Pembuatan *Mesh*

Ukuran mesh dibedakan sebagai extended inlet, extended outlet, fluida pompa, dan rotating domain. Inlet dan outlet extended region diatur agar mesh yang ada dapat berukuran 6 mm, dengan permukaan inlet dan outlet yang diberikan face sizing dengan ukuran 0.35 mm. Hal tersebut bertujuan untuk menangkap aliran di dekat inlet dan outlet yang belum menjadi fully developed flow. Pada domain fluida pompa diberi ukuran mesh 1 mm dan pada rotating domain diberi ukuran 0.45 mm. Agar memungkinkan kondisi batas sebagai interface pada simulasi, input contact region diberikan pada permukaan geometri fix domain dan rotating domain yang saling bersentuhan. Dalam pembuatan mesh, skewness harus berada pada kondisi $<0,9$, kualitas orthogonal harus berada pada kondisi $0,14 >$, dan aspek ratio harus berada di bawah 5:1 [7].

Uji grid dilakukan untuk memperoleh jumlah grid ideal yang tidak berdampak pada parameter tertentu. Dilakukannya pengujian grid dengan membandingkan hasil head pompa pada simulasi untuk delapan jenis grid: 759674, 1092268, 1316274, 1472191, 1837137, 2087764, 2550974, dan 3036022. Jumlah grid 1472191 menunjukkan perubahan kecil pada head pompa (kurang dari 1%) jika dibandingkan dengan jumlah grid yang lebih besar. Oleh karena itu, simulasi dilakukan pada grid dengan jumlah 1.5 juta grid.

2.4 Tahap Simulasi

Penciptaan model fisik digunakan dalam simulasi ini untuk menentukan jenis aliran dan memastikan apakah ada transfer energi selama proses. $Re = 6.000-12.000$ adalah rentang di mana aliran fluida memiliki sifat turbulen. Berdasarkan *ANSYS Fluent Theory Guide*, model turbulensi yang sesuai dengan keadaan aliran berentang bilangan Reynolds tersebut adalah dengan menggunakan $k-\epsilon$ Realizable [8][9] dan $k-\omega$ SST [6][7]. Setelah simulasi selesai, data yang diperoleh dari simulasi dibandingkan dengan hasil eksperimen, model $k-\epsilon$ Realizable ini memberikan hasil yang cukup dekat dengan hasil eksperimen, juga dalam residualnya, residual yang ditunjukkan terbukti lebih stabil.

Dengan mempertimbangkan nilai y^+ yang menjadi patokan target, maka dari itu dipilihlah *Standard Wall Functions*, dimana dengan kondisi aliran dengan bilangan Reynold rendah (turbin, dll), *Standard Wall Functions* sesuai untuk digunakan pada $y^+ = 15 - 100$ [10].

Kondisi batas yang dimanfaatkan dalam simulasi adalah *pressure-inlet*, *mass flow-outlet*, dan *rotating wall*. Kemudian, kriteria konvergensi yang digunakan pada proses simulasi adalah 10^{-4} .

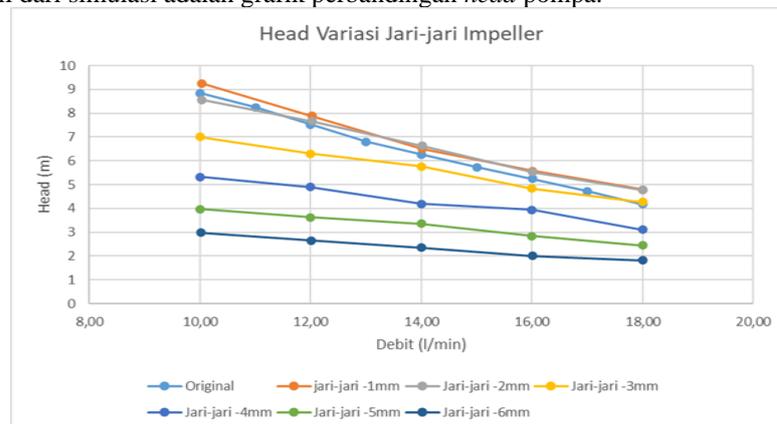
2.5 Tahap Validasi

Untuk memverifikasi bahwa hasil simulasi adalah akurat, perbandingan debit-tekanan antara data proses eksperimen dan simulasi dilakukan. Error tertinggi adalah 9,1%, dan error rata-rata adalah 3,01%.

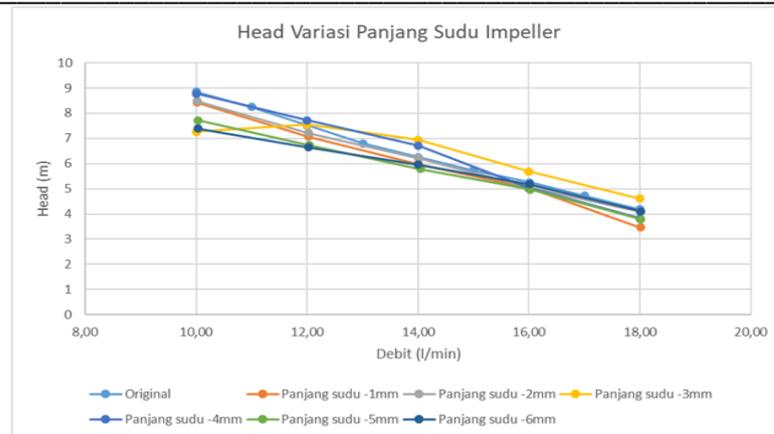
3. Hasil dan Pembahasan

Dalam rangka mencapai hasil data penelitian yang akurat, alat uji eksperimen pompa dimodifikasi sesuai dengan kaidah standar ANSI/HI 1.6-2000 dan 14.6-2011 terkait dengan posisi serta setup pada *pressure gauge* dari alat uji untuk meminimalisir tingkat kekeliruan yang diakibatkan oleh dari *head loss* dan aliran yang tidak *fully developed*. Alat ukur *pressure gauge* serta *flow meter* juga dikalibrasi agar alat uji pompa tersebut mampu menghasilkan data debit-tekanan yang konstan dengan rata-rata error yang rendah, dibandingkan dengan hasil simulasi.

Simulasi dilakukan dengan dua parameter, dan masing-masing parameter memiliki enam variasi dari jari-jari impeller dan panjang sudu impeller, yaitu pengurangan jari-jari impeller dan panjang sudu -1mm;-2mm;-3mm;-4mm;-5mm; dan -6mm. Hasil dari simulasi adalah grafik perbandingan head pompa.



Gambar 6. Grafik Debit-Tekanan Variasi Jari-jari Impeller



Gambar 7. Grafik Debit-Tekanan Variasi Panjang Sudu Impeller

Pada grafik debit-tekanan, ditunjukkan bahwa terjadi penurunan *head* sebanding dengan pengurangan jari-jari impeller dan pengurangan panjang sudu hingga jari-jari dikurangi sebanyak 6mm, dan panjang sudu dikurangi 6mm dengan penurunan 66.33% untuk pengurangan jari-jari dan penurunan hingga 29.99% untuk pengurangan panjang sudu. Variasi dari kedua parameter pada impeller ini dapat mempengaruhi gaya *drag* yang dihasilkan untuk menarik fluida dari inlet ke outlet ketika impeller berputar, dan meningkatkan tekanan statis dan tekanan total karena kerugian akibat slip berkurang serta peningkatan jumlah vortisitas fluida yang menghasilkan efek *multi-stage* tekanan pada pompa [11].

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Head* total yang tinggi pada pompa regeneratif terbentuk oleh vortisitas yang dialami fluida di sepanjang *channel* pompa dan fluida yang melewati *channel* lebih dari sekali, sehingga aliran fluida mampu menghasilkan resultan *head* yang tinggi.
2. Dari keenam variasi jari-jari impeller yang disimulasikan, variasi jari-jari -6 mm memiliki penurunan head paling tinggi dengan penurunan sebesar 66.33%
3. Dari keenam variasi panjang sudu yang disimulasikan, disimpulkan variasi panjang sudu -6 mm memiliki penurunan head tertinggi dengan penurunan head sebesar 16.45%

5. Daftar Pustaka

- [1] Abdelmeguid, Hossam. (2000). "Design, Construction and Testing of Regenerative Turbine Pump". *Faculty of Engineering Mansoura University*.
- [2] Ruth Pump Company. "Regenerative Turbine Pump – Little Pump Big Head". (Online) <https://www.rothpump.com/Media/Little%20Pump%20Big%20Head.pdf> (Diakses pada 11 Juli 2023)
- [3] Putro, Eko Prasetio, dkk. (2020). "Analisis Pompa Sentrifugal Pada Rangkaian Seri dan Paralel". *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin* Vol.21, No. 2: 46-56
- [4] Saksono, Puji. (2011). "Analisis Efisiensi Pompa Centrifugal Pada Instalasi Pengolahan Air Kampung Damai Balikpapan". *PROTON* Vol 3, No 2
- [5] Pratama, Indra Putra. (2022). "Pembuatan dan Perancangan Alat Uji Pompa Berbasis Akuisisi Data". (Skripsi) Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- [6] Kanase, Rohit S. dkk. (2017). "Experimental and CFD Analysis of Regenerative Pump". *Heat and Mass Transfer Conference (IHMT-2017)*.
- [7] Nejadali, Jafar. (2021). "Analysis And Evaluation Of The Performance And Utilization Of Regenerative Flow Pump As Turbine (PAT) In Pico-Hydropower Plants". *Energy for Sustainable Development* 64 (2021): 103–117
- [8] Quail, Francis J., Scanlon, Thomas, & Baumgartner, Armin. (2012). "Design Study of a Regenerative Pump Using One-Dimensional and Three-Dimensional".
- [9] Karanth, K. Vasudeva. (2015). "Numerical Study of a Self Priming Regenerative Pump for Improved Performance using Geometric Modifications". *International Journal of Current Engineering and Technology* Vol. 5 No. 1 : 104 – 109.
- [10] ANSYS, Inc.. (2013). "ANSYS Fluent Theory Guide 15.0". Canonsburg : ANSYS, Inc.
- [11] A. Fleder, M. Bohle, " A Systematical Study of theInfluence of Blade Length, Blade Width, and Side Channel Height on the Performance of a Side Channel Pump, *J. Fluids Eng. Trans. ASME* 137 (12) (Dec. 2015)