

Pengaruh Jumlah Sudu 8, 12, 16 dan 20 terhadap Performa Hidro-Turbin Cross-Flow dengan sudut 15° Menggunakan Metode Computational Fluids Dynamics

Dandun Mahesa Prabowoputra^{1,a}, Purwanto^{2,b}, Ahmad Janan Febrianto^{3,c}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Jawa Tengah

²Jurusan Teknik mesin, Fakultas Teknik, Universitas Maritim AMNI Semarang, Jawa Tengah

^adandunmahesa@ump.ac.id

Abstrak.

Energi listrik merupakan kebutuhan primer dalam kehidupan sehari-hari. Perkembangan teknologi mengakibatkan meningkatnya kebutuhan energi listrik setiap tahunnya. Energi baru terbarukan memasok kebutuhan energi listrik nasional sebesar 14%. Di sisi lain, pemerintah mengharapkan komposisi energi baru terbarukan sebesar 23% hingga 31% pada tahun 2050. Hal ini menunjukkan bahwa energi baru terbarukan masih memiliki gap yang cukup tinggi. Penelitian ini merupakan salah satu upaya dalam pengembangan energi baru terbarukan, terutama pada pembangkit listrik mikro-pico hidro. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode Computational Fluid Dynamics menggunakan Aplikasi Ansys dengan CFX Solver. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu pada hidro-turbin cross-flow terhadap performa Coefficient of Power. Penelitian dilakukan pada rotor dengan dimensi diameter 80 mm, panjang 130 mm dan sudut sudu 15°. Variasi jumlah sudu dilakukan pada jumlah sudu 8, 12, 16, dan 20. Simulasi dilakukan pada steady state, dan menggunakan tipe turbulen Shear Stress Transport. Turbin cross-flow beroperasi pada kecepatan air 3m/s dengan kecepatan sudu pada interval 50 sampai 350 RPM. Hasil menunjukkan Coefficient of Power Maximum yang dihasilkan untuk sudu 8,12, 16 dan 20 adalah 10,8%; 14,1%; 16,8% dan 20,1%. Dari hasil tersebut menunjukkan performa maksimal dihasilkan oleh hidro-turbin tipe cross-flow dengan jumlah sudu rotor 20.

Kata kunci. *CFD; Energi Baru Terbarukan; Cross-Flow; Hidro-Turbin; Coefficient of Power*

Abstract.

Electrical energy is a primary need in our daily lives. Technological developments have resulted to an increase in the consumption of electrical energy every year. New and renewable energy supplies the national electricity demand by 14%. on the other hand, the government expects the composition of the new renewable energy by 23% to 31% in 2050. This shows that renewable energy still has a relatively high gap. This study is one of the efforts in the development of renewable energy, particularly on electricity generation Micro-Pico Hydro. This research was conducted using the Computational Fluids Dynamics method using Ansys application with CFX Solver. The research was conducted to determine the effect of the number of blades on the hydro-turbine cross-flow on the performance of the Coefficient of Power. The research was conducted on a rotor with dimensions of 80 mm in diameter, 130 mm in length and 15 ° blade angle. Variations in the number of blades were carried out on the number of blades 8, 12, 16, and 20. Simulations conducted at steady state, and using a type of Shear Stress Transport turbulent. The cross-flow turbine operates at a water velocity of 3m / s at angular velocity at intervals of 50 to 350 RPM. The results show that the Coefficient of Power Maximum generated for blades 8,12, 16 and 20 is 10.8%; 14.1%; 16.8% and 20.1%. From these results, it shows that the maximum performance is produced by the Cross-Flow type hydro-turbine with a number of rotor blades of 20.

Keywords: *CFD; Renewable Energy; Cross-Flow Turbine; Hydro-Turbine; Coefficient of Power*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi energi baru terbarukan yang sangat besar. Tabel 1 menunjukkan data potensi sumber energi terbarukan di Indonesia yang diperoleh dari outlook energi Indonesia [1]. Data tersebut menunjukkan bahwa energi air memiliki potensi yang cukup besar yaitu 94,5 GW. Hal ini merupakan peluang besar bagi penelitian dibidang pembangkit tenaga air untuk mengembangkan energi baru terbarukan di Indonesia. Dimana ini akan membantu dalam pencapaian program yang di canangkan oleh pemerintah yang memberikan target bauran energi baru terbarukan sebesar 23% sampai 31% pada tahun 2050 [1]. Dimana penelitian mengenai energi baru terbarukan ini dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak atau secara simulasi [2].

Tabel 1. Potensi Energi Baru terbarukan [1]

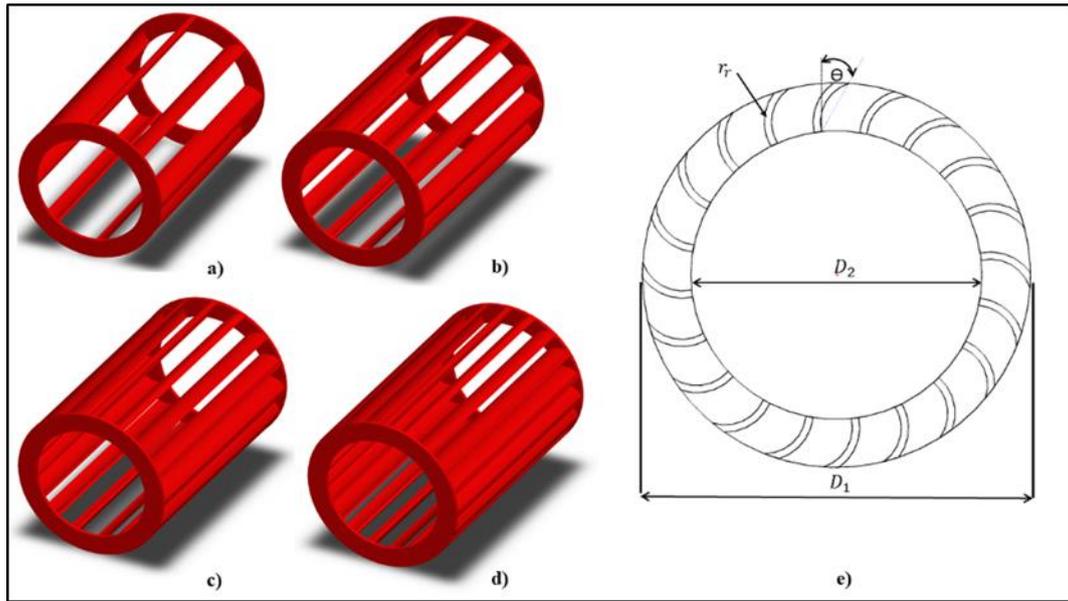
<i>Jenis Energi</i>	<i>Potensi</i>
Tenaga Air	94,3 GW
Panas Bumi	28,5 GW
Bio Energi	32,6 GW
Surya	207,8 Gwp
Angin	60,6 GW
Energi Laut	17,9 GW

Penelitian mengenai hidro-turbin mengalami perkembangan dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian tersebut antara lain mengenai turbin air savonius, turbin air darrieus, dan turbin air cross-flow. Variasi yang dilakukan antara lain bentuk sudu [3, 4], Rasio diameter [5], jumlah stage [6], dan rasio ketebalan [7], baik dilakukan secara eksperimen maupun pendekatan numerikal. Faktor-faktor yang mempengaruhi performa turbin antara lain faktor geometri, propertis fluida dan material turbin [8, 9]. Turbin tipe cross-flow merupakan salah satu dari jenis Hidro-Turbin [10]. Implementasi tipe Cross-Flow dapat digunakan sebagai Pembangkit Listrik Mikro-hidro [11]. Beberapa faktor yang mempengaruhi performa pada turbin cross-flow adalah jumlah sudu [12], diameter rotor, ketebalan, nozzle dan nozzle entry [13]. Pada penelitian kali ini adalah melakukan analisa pengaruh geometri terhadap performa turbin air.

Pada penelitian kali ini dilakukan pada desain turbin cross-flow dengan sudut 15° dengan variasi jumlah sudu 8, 12, 16 dan 20. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah sudu paling efektif yang menghasilkan performa terbaik pada Hidro-turbin. Dimana penelitian ini dilakukan pada kecepatan fluida 3 m/s dan kecepatan putar 50 - 350 RPM.

2. Desain Rotor dan Data Reduksi

Turbin yang digunakan dalam penelitian ini adalah turbin air tipe cross-flow. Desain turbin yang digunakan ditunjukkan pada gambar 01. Dimensi yang digunakan untuk rotor cross-flow adalah diameter luar (D1) 80 mm, diameter dalam (D2) 60 mm, panjang rotor 130 mm, jari-jari sudu (rr) 10 mm dengan kemiringan (Θ) 15° dan ketebalan rotor 1,5 mm. Variasi yang dilakukan pada turbin air pada penelitian ini adalah perbedaan jumlah sudu, yaitu 8, 12, 16 dan 20.



Gambar 01. a) rotor 8 sudu, b) Rotor 12 sudu, c) Rotor 16 sudu, d) Rotor 20 sudu dan e) keterangan dimensi rotor

Perhitungan kalkulasi performa Hidro-turbin cross-flow menggunakan persamaan berikut ini :

$$P_{Available} = 0,5 \times \rho \times A \times V^3 \quad (1)$$

$$P_{Rotor} = T \times \omega \quad (2)$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (4)$$

$$C_p = \frac{P_{Rotor}}{P_{Available}} \quad (5)$$

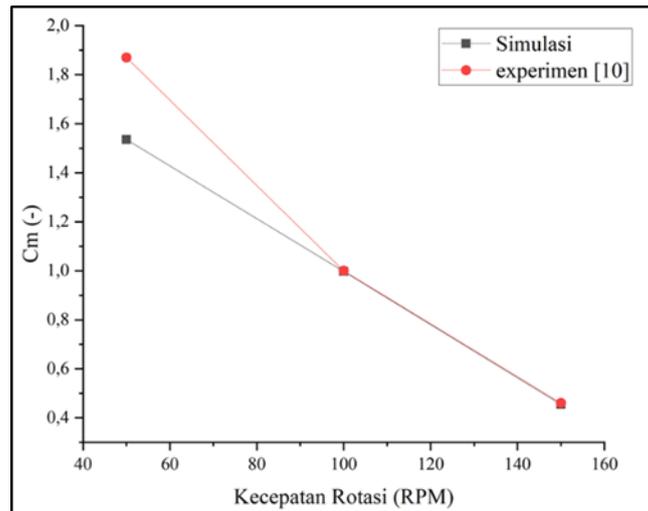
Dimana, A merupakan luas proyeksi rotor, ρ untuk massa jenis air, ω kecepatan Angular, T adalah torsi, C_p merupakan *Coefficient of Power*, n merupakan kecepatan putar, dan V adalah kecepatan Aliran Fluida [14].

3. Permodelan Numerikal

Penelitian hidro-turbin cross-flow ini dilakukan menggunakan metode CFD, menggunakan perangkat lunak *Ansys Student Version 2021R* dengan *CFX Solver*. Hidro-turbin disimulasikan menggunakan permodelan tiga dimensi. Axis rotor adalah Horizontal, dan aliran fluida *inlet* dari arah atas rotor.

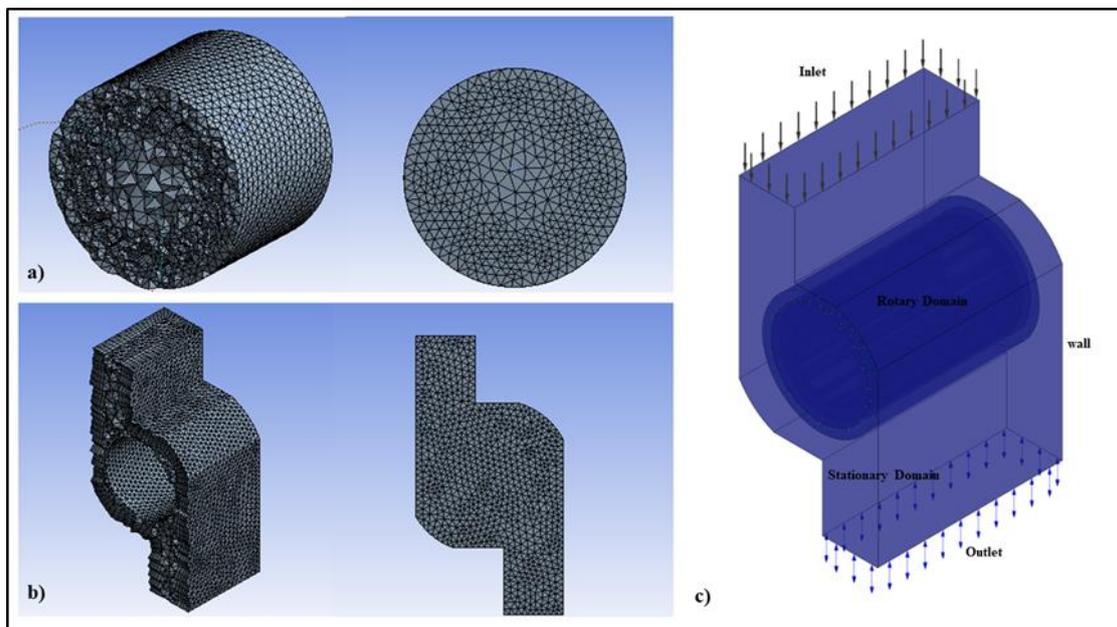
Penelitian ini dimulai dengan proses *benchmarking* kondisi batas. Proses ini yaitu proses melakukan duplikasi terhadap suatu penelitian, kemudian melakukan perhitungan perbedaan/perbandingan nilai hasil tersebut. Hasil dari *benchmarking* ditunjukkan oleh grafik Gambar 2. Validasi dilakukan dengan membandingkan penelitian eksperimen yang digunakan sebagai *benchmarking* pada penelitian makarim et.al [10]. Rata-rata perbedaan nilai *benchmarking* sebesar 6%, dimana nilai ini dapat diterima dikarenakan kurang dari 10%.

Proses simulasi dilakukan pada *worbench Ansys*. *Meshing* pada domain menggunakan metode *tetrahedron*, dan menggunakan *inflation* pada dinding rotor dan dinding *stationary domain*. Hasil meshing pada rotary domain ditunjukkan pada Gambar 3.a dan hasil meshing pada stationary domain ditunjukkan pada Gambar 3.b. Skewness rata-rata pada proses meshing diperoleh sebesar 0,3. Nilai tersebut masuk dalam kategori kualitas mesh yang baik. Kualitas mesh yang baik adalah apabila nilai skewness kurang dari 1 [15].



Gambar 2. Grafik Benchmarking hubungan Kecepatan Rotasi dengan Coefficient Moment.

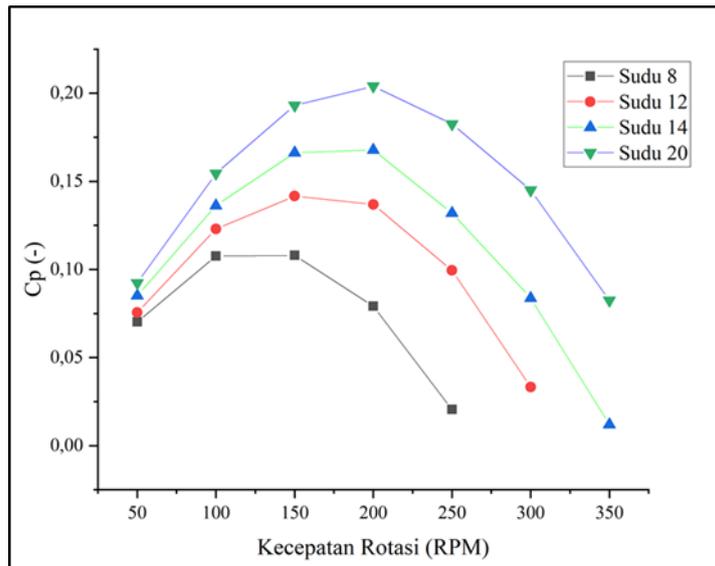
Skematik permodelan yang dilakukan ditunjukkan oleh Gambar 3.c. Gambar tersebut menunjukkan bahwa skematik simulasi terdiri dari dua domain, yaitu *stationary domain* dan *rotary domain*. *Stationary domain* terdiri dari 3 bagian yaitu *inlet*, *wall* dan *outlet*. Kondisi batas *inlet* yaitu fluida yang digunakan adalah air, dengan massa jenis 1000 kg/m^3 dan kecepatan 3 m/s . Aliran air merupakan aliran *subsonic*. Pada batas dinding menggunakan kondisi batas *wall* dengan asumsi *no slip condition*, dan pada *outlet* menggunakan kondisi batas *opening* dengan tekanan 1 atm . *Rotary domain* terdiri dari *interface* dan *wall rotor*. *Interface* pada *stationary domain* dan *rotary domain* merupakan penghubung kedua domain dengan kondisi *fluid to fluid*. Simulasi dilakukan pada *steady state*, dan menggunakan tipe turbulen *Shear Stress Transport*. Simulasi dilakukan pada kecepatan rotasi 50 sampai 350 RPM.



**Gambar 3. a) Hasil meshing dari Rotary Domain; b) Hasil meshing dari Stationary Domain
c) Skematik Simulasi**

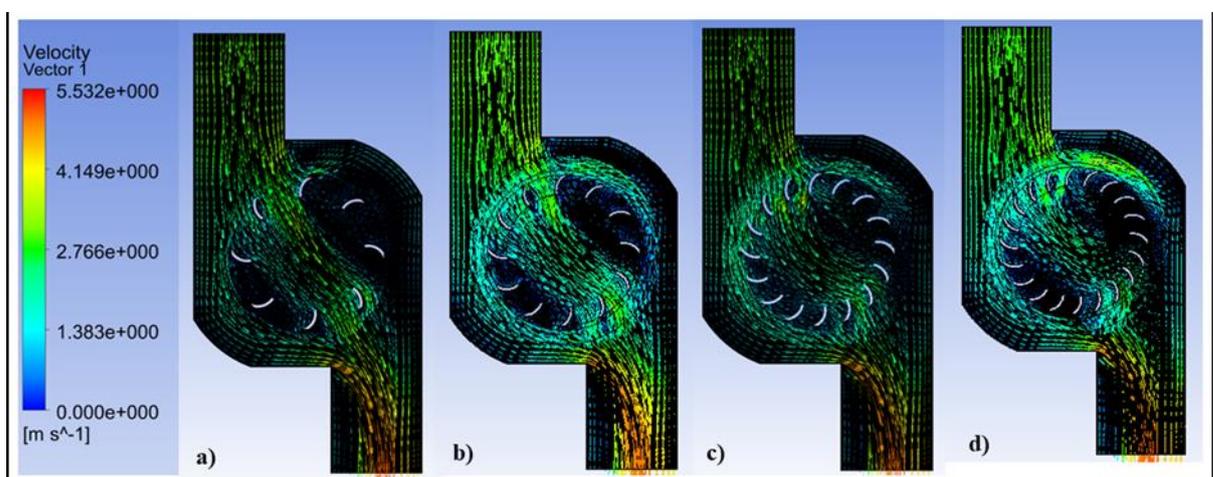
4. Hasil dan Diskusi

Gambar 4 menunjukkan C_p yang dihasilkan dari masing-masing desain rotor. Rotor dengan jumlah sudu 8 menunjukkan C_p naik hingga pada kecepatan rotasi < 150 rpm dan menurun pada kecepatan rotasi > 150 rpm. C_{pmax} yang dihasilkan oleh rotor dengan 8 sudu adalah 10,8%. Pada rotor dengan sudu 12 serupa dengan rotor dengan sudu 8, C_p meningkat pada kecepatan rotasi < 150 rpm kemudian menurun pada kecepatan rotasi > 150 rpm. C_{pmax} yang dihasilkan adalah 14,16%. Rotor dengan jumlah sudu 16 dan 20, C_p meningkat pada kecepatan rotasi < 200 rpm kemudian menurun pada kecepatan rotasi > 200 rpm. C_{pmax} yang dihasilkan oleh rotor dengan 16 sudu adalah 16,78% dan rotor dengan 20 sudu sebesar 20,4%.



Gambar 4. Grafik Coefficient of Power dari seluruh variasi jumlah sudu

Pada masing-masing kecepatan rotasi runner, setiap penambahan jumlah sudu mengalami peningkatan. Dimana semakin besar kecepatan rotasi runner menunjukkan peningkatan (selisih) yang semakin besar pada penambahan sudu. *Gap* yang cukup besar terdapat pada perubahan jumlah sudu 8 dengan jumlah sudu 12, dan perubahan jumlah sudu 14 dengan jumlah sudu 20. *Gap* terkecil terdapat pada perubahan jumlah sudu 12 dengan jumlah sudu 14.



Gambar 5. vektor kecepatan pada a) Rotor 8 sudu, b) Rotor 12 sudu, c) Rotor 16 sudu dan d) Rotor 20 sudu

Selain menghasilkan nilai C_p , simulasi ini menghasilkan output dalam bentuk vektor kecepatan. Vektor kecepatan untuk setiap jenis rotor ditunjukkan pada Gambar 5. Vektor kecepatan yang terbentuk memiliki kemiripan untuk seluruh variasi. Untuk rotor dengan sudu 20 memiliki kerapatan kecepatan paling rapat disekitar *rotary domain*.

Semakin banyak jumlah rotor menunjukkan interval kecepatan rotasi yang lebih luas dan memiliki Coefficient of Power yang lebih besar. Hal ini disebabkan rotor dengan jumlah sudu yang semakin banyak, dapat menangkap kecepatan air dari aliran inlet, Sehingga torsi yang dihasilkan oleh rotor semakin besar.

5. Kesimpulan

Hasil simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa jumlah sudu memberikan pengaruh pada performa hidro-turbin *cross-flow*. Hasil C_{pmax} terbaik diperoleh pada hidro-turbin *cross-flow* dengan jumlah sudu 20 dengan nilai 20,4 %. Perbandingan untuk keempat rotor yang telah disimulasikan ditunjukkan pada gambar 4. Sehingga hidro-turbin *cross-flow* dengan rotor berjumlah sudu 20 dapat digunakan sebagai alternatif desain.

Referensi

- [1] Sekertariat Jendral Dewan Energi Nasional, Indonesia Energy Outlook, Jakarta, Indonesia, 2019.
- [2] D.M. Prabowoputra, A. Sartomo, Suyitno, The effect of pressure and temperature on biodiesel production using castor oil. AIP Conference Proceedings, 2217 (2020), p. 030051.
- [3] M.I. Nadiyah, D.M. Prabowoputra, D.D.D.P Tjahjana, S. Hadi, Experimental study on the effect of variation of blade arc angle to the performance of savonius water turbine flow in pipe. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research 9, 779-783 (2020).
- [4] D.M. Prabowoputra, A.R Prabowo, S. Hadi, J.M. Sohn. Performance Assessment of Water Turbine Subjected to Geometrical Alteration of Savonius Rotor. Proceedings of the 6th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4481-1_35
- [5] D.D.D.P Tjahjana, P. Purbaningrum, S. Hadi, Y. Wicaksono, D. Adiputra, The Study of the Influence of the Diameter Ratio and Blade Number to the Performance of the Cross Flow Wind Turbine by Using 2D Computational Fluid Dynamics Modeling, AIP Conference Proceedings 1931, 030034 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5024093>
- [6] D.M. Prabowoputra, A.R Prabowo, S. Hadi, J.M. Sohn, Assessment of turbine stages and blade numbers on modified 3D Savonius hydrokinetic turbine performance using CFD analysis. Multidiscipline Modeling in Materials and Structures (2020); <https://doi.org/10.1108/MMMS-12-2019-0224>.

- [7] S Hadi, RJ Apdila, AH Purwono, EP Budiana, D.D.D.P Tjahjana, Performance of the drag type of Horizontal Axis Water Turbine (HAWT) as effect of depth to width ratio of blade. AIP Conference Proceedings 1788, 030004 (2017)
- [8] A.R Prabowo, D.M. Prabowoputra, Investigation on Savonius turbine technology as harvesting instrument of non-fossil energy: Technical development and potential implementation. Theoretical & Applied Mechanics Letters 10 (2020) 262-269