

Pengaruh Sudut Sudu Turbin Jenis *Taper* Terhadap *Tip Speed Ratio* (TSR) dan *Power Coefficient* (CP) Pada Turbin Angin Horizontal Berbasis *Q-Blade*

Roy Aries Permana Tarigan¹, Radhi Ariawan², Adam Jauza Maulana³, Wais Al Khorni⁴
^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

Email: tarigan@pnc.ac.id, radhi.ariawan@pnc.ac.id, adamjauzamaulana12600@gmail.com
walkhorni1@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik masih perlu untuk ditingkatkan, dengan melihat performa turbin yang tidak selalu sama pada kondisi daerah yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut sudu (3^0 , 5^0 , 7^0 , dan 10^0) turbin terhadap TSR dan CP dengan menggunakan simulasi Q-Blade. Software Q-Blade digunakan untuk mengetahui perbandingan nilai CP dan TSR, sehingga dapat memprediksi nilai daya yang dihasilkan pada putaran sudu. Data yang digunakan pada penelitian ini, sebagai variabel tetap, adalah tipe airfoil NACA 4412, jenis sudu taper, jumlah sudu (4), jari-jari sudu (0,3 m), kecepatan angin $\pm 3,6$ m/s. Hasil simulasi yang ditampilkan berupa grafik hubungan CP terhadap perubahan TSR dan gambar simulasi pendistribusian beban yang terjadi pada geometri sudu. Nilai CP tertinggi dihasilkan dari sudut sudu 3^0 pada angka TSR 5, yaitu $\pm 0,4$. Nilai pembebanan yang rendah pada daerah sumbu/rotor, pada variasi sudut sudu 3^0 , menyeimbangkan gaya sentrifugal pada fluida yang berputar. Gaya sentrifugal menghasilkan gaya dorong pada turbin, sehingga sudu berputar dengan nilai CP yang tinggi pada daerah tersebut.

Kata kunci: *Q-Blade*, *Taper*, Sudut, CP, TSR

ABSTRACT

The utilization of wind energy as a power plant still needs to be improved by looking at the turbine performance, which is not always the same in different regional conditions. This study aims to determine the effect of the blade angle of the turbine on the tip speed ratio (TSR) and power coefficient (CP) by using a Q-Blade simulation. Q-Blade software can predict the value of the power generated at the blade rotation by comparing the CP and TSR values. The type of airfoil NACA 4412, taper blade, blade's numbers (4), blade radius (0.3 m), wind speed ± 3.6 m/s were fixed variables in this study. The simulation generated a graph of the relationship between CP and TSR changed and a simulation image of the load distribution ensued in the blade geometry. The blade angle of 3^0 at the TSR number 5 produced the highest CP values, which was ± 0.4 . The low loading value in the axis/rotor region, at a variation of the blade angle of 3^0 , balances the centrifugal force on the rotating fluid. The centrifugal force produces thrust on the turbine so that the blade rotates with a high CP value in that area.

Keywords: *Q-Blade*, *Taper*, Angle, CP, TSR

1. Pendahuluan

Penelitian tentang pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik perlu untuk selalu ditingkatkan, dengan melihat performa turbin yang tidak selalu sama pada kondisi daerah yang berbeda. Pengaruh sudut sudu turbin terhadap TSR dan CP menjadi fokus pada penelitian ini. Simulasi *Q-Blade* digunakan untuk mendapatkan kurva pengaruh tersebut. Hal ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa beberapa daerah di Indonesia memiliki ketersediaan dan potensi angin sepanjang tahun yang dapat dimanfaatkan menjadi listrik. Nilai potensi tersebut memerlukan penelitian tentang variasi sudu turbin angin yang optimal dengan pemilihan bahan yang tepat, untuk dapat menggerakkan turbin angin dengan kecepatan angin rendah [1]. Sudu pada bilah turbin angin berperan sebagai komponen pertama yang berinteraksi dengan angin untuk kemudian dikonversi menjadi energi mekanik. Turbin angin dirancang untuk menghasilkan daya terukur pada kecepatan angin tertentu. Turbin angin dirancang memiliki kecepatan putar awal bilah dan tingkat pembangkitan energi listrik seminimal mungkin sehingga daya dapat dihasilkan pada kecepatan angin rendah [2]. Penelitian pun dapat dikembangkan pada media pembelajaran sebagai alat penunjang proses perkuliahan dan mampu meningkatkan motivasi belajar Mahasiswa dalam mengenal dunia energi terbarukan [3]. NACA 4412 adalah bentuk penampang (*airfoil*) sudu yang direkomendasikan untuk kecepatan angin rendah dengan nilai *glide ratio* tinggi dan stabil dengan perubahan bilangan *Reynolds* dan sudut serang [4].

Bentuk penampang sudu merupakan salah satu faktor penting untuk konversi energi pada turbin angin. Profil sudu memberikan koefisien drag kecil untuk gaya angkat yang diberikan. Penampang sudu yang tepat memungkinkan tercapainya efisiensi tinggi. Untuk turbin angin, konfigurasi profil tergantung pada beberapa aspek, antara lain aspek faktor daya yang diharapkan, aspek estetika, dan aspek manufaktur [5]. Koefisien drag adalah koefisien tak berdimensi yang berhubungan dengan gaya hambat benda pada kecepatannya, luas permukaan dan densitas fluida ketika benda tersebut bergerak, sedangkan koefisien angkat adalah koefisien tak

berdimensi yang bergantung pada gaya angkat benda, kecepatan fluida, luas permukaan dan densitas fluida ketika benda terendam [6]. Ada dua metode utama untuk memprediksi beban aerodinamis turbin angin yaitu *Blade Element Momentum* (BEM) dan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). BEM dapat digolongkan sebagai metode analisis yang cepat dan akurat. Secara umum, BEM lebih disukai untuk desain awal dan estimasi beban. Ada perangkat lunak yang tersedia untuk analisis BEM, seperti desain dan simulasi turbin angin (*Q-Blade*) [7]. Asumsi dasar teori BEM adalah bahwa gaya pada elemen sudu mempengaruhi perubahan momentum aksial udara yang melewati anulus yang disapu oleh elemen tersebut [8].

Tiga jenis kecepatan angin yang berkaitan dengan performa turbin angin antara lain: *cut-in velocity*, *optimum vlocity*, dan *cut-off velocity*. *Cut-in velocity* adalah kecepatan minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya generator. *Optimum velocity* adalah kecepatan angin untuk menghasilkan tenaga paling besar. *Cut-off velocity* adalah kecepatan operasi maksimum turbin angin, untuk memastikan keamanan konstruksi pada turbin angin [9]. Sebelum memasuki tahap desain, geometri sudu disimulasikan menggunakan *software Q-Blade*, dengan memasukkan data hasil perhitungan geometri sudu yang telah dilakukan sebelumnya pada tahap perancangan (*radius parsial*, *twist*, dan *chord*) [10]. Bagian akar (*root portion*) dari sudu turbin angin lebih rentan mengalami kerusakan akibat pembengkokan. Oleh karena itu, perlu untuk menjaga bagian akar lebih tebal dibandingkan dengan bagian lain dari sudu turbin [11].

Nilai maksimum koefisien daya (CP) sebesar 0,45 pada kecepatan angin terukur 8,4 m/s diperoleh dari hasil simulasi *Q-Blade* pada turbin angin mini yang menggunakan *airfoil* tipe SG6043 [12]. Pada kecepatan angin relatif rendah, performa turbin savonius dengan jumlah 2 sudu memiliki efisiensi lebih rendah dari pada jumlah 3 dan 4 sudu [13]. Turbin dengan putaran besar tidak efektif digunakan di daerah dengan kecepatan angin yang rendah karena daya yang dihasilkan tidak dapat terpenuhi dari putaran turbin [14]. Parameter seperti sudut serang (*angle of attack*), sudut sudu/puntir (*twist angle*), *tip speed ratio* (TSR) dan lebar sudu (*chord length*)

dapat mempengaruhi efisiensi turbin angin. TSR yang tinggi dapat dicapai dengan pengurangan *chord length*, sehingga menghasilkan profil sudu yang lebih sempit [15].

2. Metodologi Penelitian

Software Q-Blade digunakan untuk mengetahui perbandingan nilai CP dan TSR, sehingga dapat memprediksi nilai daya yang dihasilkan pada putaran sudu. Adapun tahapan-tahapan untuk melakukan simulasi menggunakan *software Q-Blade*, sebagai berikut:

1. Penentuan jenis *airfoil*

Kegiatan awal yang dilakukan adalah pemilihan *airfoil* yang akan digunakan pada perancangan sudu turbin ini yaitu menggunakan NACA 4412 yang diperoleh dari UIUC *Airfoil Coordinate Database*;

2. Sebelum menentukan geometri sudu, hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan *Angle of Attack* (α) dan *Coefficient of Lift* (Cl). Nilai α dan Cl diperoleh dari simulasi *Q-Blade*;

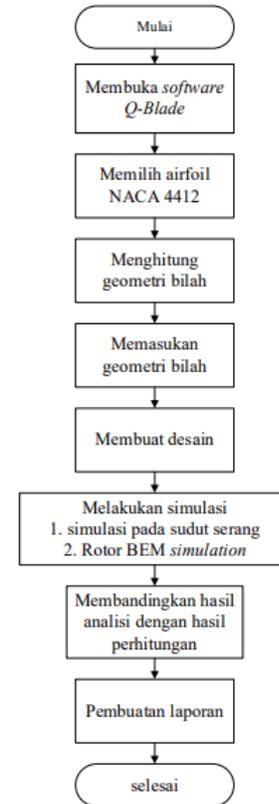
3. Desain sudu turbin digambarkan menjadi gambar susunan dan gambar bagian;

4. BEM

Untuk menghitung gaya dorong (*thrust*), daya, dan CP dengan parameter kecepatan udara, kecepatan putar, dan *pitch angel* dari sudut turbin angin yang berbeda-beda maka dapat menggunakan teori dari BEM dengan menggunakan *software Q-Blade*;

5. Simulasi putaran turbin

Simulasi putaran turbin akan menghasilkan perbandingan nilai CP dan TSR.



Gambar 1. Diagram Alir Simulasi *Q-Blade*

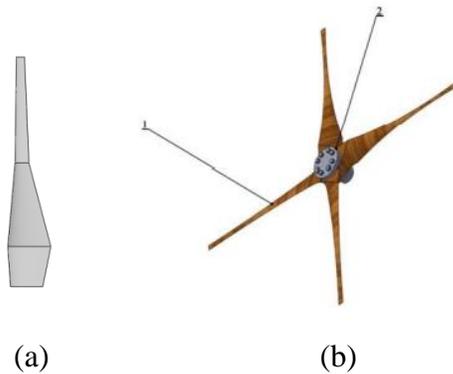
Gambar 1 merupakan tahapan sebagian dari kegiatan perancangan turbin, yaitu pada penggunaan simulasi *Q-Blade*. Pada akhirnya, hasil simulasi ini akan digunakan sebagai pertimbangan pada proses selanjutnya, yaitu proses pembuatan sudu turbin. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kompoter/laptop dengan aplikasi *software* yang terinstal *Solidwork* dan *Q-Blade*, serta data *airfoil* yang dibutuhkan.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Data yang digunakan

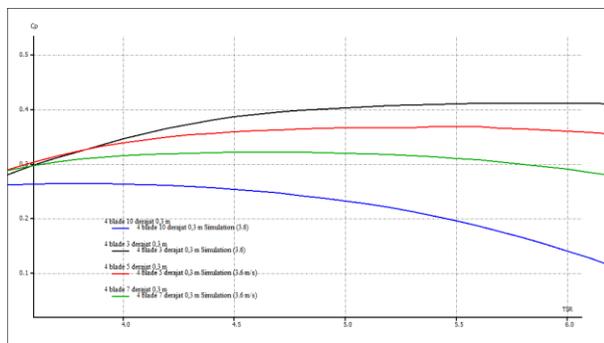
| No. | Data | Keterangan |
|-----|---------------------|-----------------------|
| 1 | Tipe <i>airfoil</i> | NACA 4412 |
| 2 | Jenis sudu | <i>Taper</i> |
| 3 | Jumlah sudu | 4 sudu |
| 4 | Jari-jari sudu | 0,3 m |
| 5 | Variasi sudut sudu | $3^0, 5^0, 7^0, 10^0$ |
| 6 | Kecepatan angin | $\pm 3,6$ m/s |

Tabel 1 menjelaskan data yang digunakan pada penelitian ini, sehingga pengaruh variasi sudut sudu terhadap performa turbin dapat diketahui. Data tersebut merupakan konsep yang akan digunakan selanjutnya pada tahap perancangan turbin. Proses penentuan *airfoil* diambil dari UIUC (*Airfoil Coordinates Database*) yang sudah banyak digunakan pada turbin angin, yaitu NACA 4412. Selanjutnya mensimulasikannya pada software *Q-Blade* dengan memasukkan data data yang ada pada tabel 1, serta pada simulasi ini digunakan Bilangan *Reynold* (Re) 1.000.000.



Gambar 2. (a) Geometri sudu pada *Q-Blade* dan (b) Gambar susunan turbin dengan keterangan: 1. Sudu; dan 2. Hub pada *Solidwork*

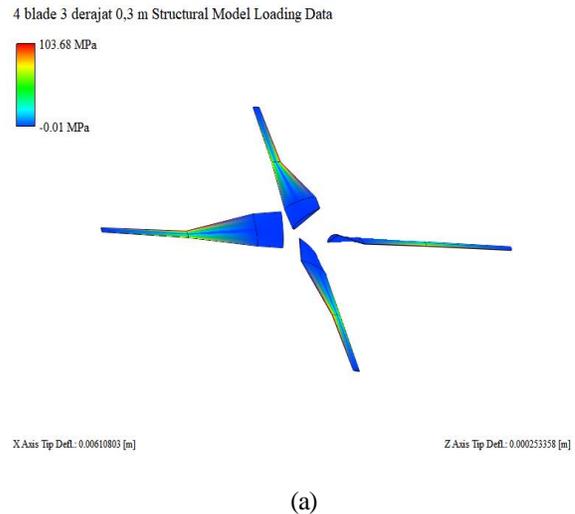
Gambar 2 merupakan hasil penggambaran sudu dari (a) *software Q-Blade* dan (b) *Solidwork*. Simulasi *Q-Blade* dapat dilanjutkan pada tahapan pengamatan TSR dan CP dari sudut serang dan rotor BEM *simulation*. Di bawah ini merupakan hasil dari simulasinya berdasarkan variasi sudut sudu $3^{\circ}, 5^{\circ}, 7^{\circ}, 10^{\circ}$:



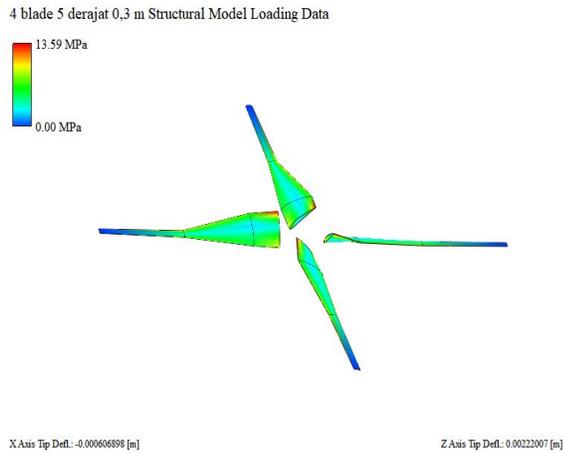
Gambar 3. Grafik hubungan CP terhadap TSR dengan variasi sudut sudu

Garis berwarna di atas diberikan keterangan sebagai berikut, yaitu garis warna hitam menjelaskan sudut sudu 3° , garis warna merah menjelaskan sudut sudu 5° , garis warna hijau menjelaskan sudut sudu 7° , dan garis warna biru menjelaskan sudut sudu 10° , serta kecepatan angin yang diberikan sebesar $\pm 3,6$ m/s. Gambar 3 ini menjelaskan bahwa nilai puncak CP terjadi pada sudut sudu 3° yaitu sebesar $\pm 0,4$. Pada nilai TSR yang sama, 5, keempat variasi sudu menunjukkan nilai puncaknya masing-masing. Hal ini menunjukkan bahwa garis nilai CP membentuk kurva parabola pada setiap peningkatan TSRnya, serta dipengaruhi juga oleh variasi sudut sudunya. Semakin kecil sudut sudunya menunjukkan pencapaian CP yang lebih maksimal.

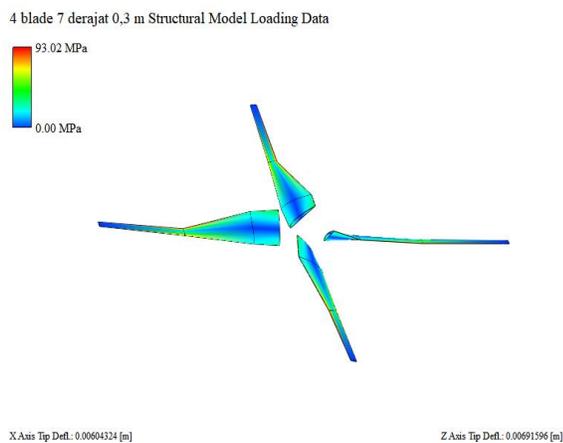
Gambar 4, di bawah ini, menjelaskan simulasi pendistribusian beban yang terjadi pada setiap variasi sudut sudunya. Warna biru, hijau dan merah menunjukkan interval nilai pembeban rendah, menengah, dan tinggi pada geometri sudu. Gambar 4(a) menjelaskan pendistribusian nilai beban pada daerah sumbu/rotor lebih rendah daripada gambar lainnya. Nilai beban yang rendah pada daerah sumbu/rotor menyeimbangkan gaya sentrifugal pada fluida yang berputar, kemudian menghasilkan gaya dorong tambahan pada rotor. Kondisi ini dapat meningkatkan CP lokal.



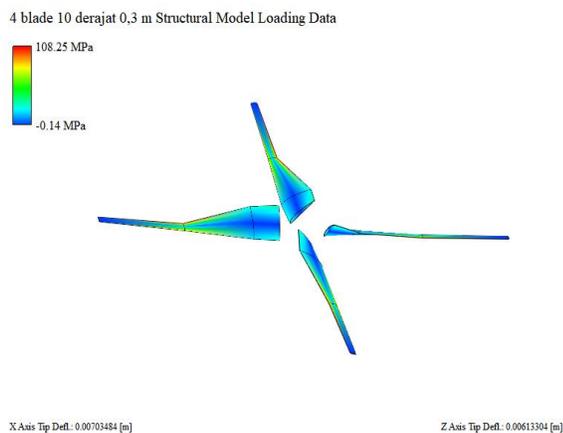
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. Simulasi warna pembebanan yang terjadi pada struktur sudu dengan keterangan: (a) sudut sudu 3^0 ; (b) sudut sudu 5^0 ; (c) sudut sudu 7^0 ; dan (d) sudut sudu 10^0

4. Kesimpulan

Simulasi *Q-Blade* menunjukkan bahwa variasi sudut sudu mempengaruhi nilai CP dan TSR pada turbin. Nilai CP tertinggi dihasilkan dari sudut sudu 3^0 pada angka TSR 5, yaitu $\pm 0,4$. Simulasi pendistribusian beban pada geometri sudu juga dapat menjelaskan hal tersebut. Nilai pembebanan yang rendah pada daerah sumbu/rotor menyeimbangkan gaya sentrifugal pada fluida yang berputar. Gaya sentrifugal menghasilkan gaya dorong pada turbin, sehingga sudu berputar dengan nilai CP yang tinggi pada daerah tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] T. Multazam and A. Mulkan, "Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator," *J. Serambi Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 616–624, 2019, doi: 10.32672/jse.v4i2.1446.
- [2] A. Nuraini, C. S. Abadi, and Fachruddin, "Analisis Perbandingan Bilah Turbin Angin Jenis Taper dengan Taperless pada Turbin Angin Skala Mikro di PT . Lentera Bumi Nusantara," *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, pp. 138–146, 2019.
- [3] N. Arisandi, J. Custer, and Muharnis, "RANCANG BANGUN DAN ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU MINI SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN (BLADE TAPERLESS BERBAHAN KAYU)," *Semin. Nas. Ind. dan Teknol. (SNIT), Politek. Negeri Bengkalis*, pp. 403–47, 2019.
- [4] M. A. Alfaridzi and R. Setiawan, "Analisis Performa Bilah Taperless Dengan Airfoil NACA 4412 pada Horizontal Axis Wind Turbine TSD 500 di PT Lentera Bumi Nusantara," *J. Tek. MESIN DAN PEMBELAJARAN*, vol. 3, no. 2, p. 64, 2020, doi: 10.17977/um054v3i2p64-73.
- [5] Ismail and T. Arrahman, "PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL TIGA SUDU DENGAN KAPASITAS 3 MW," *PRESISI*, vol. 18, no. 2, pp. 10–19, 2017.
- [6] M. P. JAGTAP and L. G. NAVALE, "Twist Angle Analysis of Helical Vertical Axis Wind Turbine (Vawt) Using *Q-Blade*," *Int. J. Res. Publ. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 8, pp. 2454–

- 7875, 2017.
- [7] K. Y. Maalawi, *Design Optimization of Wind Energy Conversion Systems with Applications*. Britania Raya: IntechOpen, 2020.
- [8] T. L. Burton, N. Jenkins, E. Bossanyi, D. Sharpe, and M. Graham, *Wind Energy Handbook*, Third. Britania Raya: Wiley, 2021.
- [9] S. Hernowo, "RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL SEDERHANA DENGAN PANJANG SUDU 1 METER," *J. Voering*, vol. 5, no. 1, pp. 15–21, 2020.
- [10] M. D. Nursidik, I. N. Gusniar, V. Naubnome, and Oleh, "Manufaktur Bilah Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Tipe Taperless Menggunakan Airfoil S3024 dengan Daya 500 WATT di PT. Lentera Bumi Nusantara," *Infomatek*, vol. 32, no. 2, pp. 79–90, 2021, doi: 10.23969/infomatek.v23i2.4405.
- [11] R. Roul and A. Kumar, *Next Generation Materials and Processing Technologies Select Proceedings of RDMPMC 2020*. Jerman: Springer Singapore, 2021.
- [12] S. Raut, S. Shrivastava, R. Sanas, N. Sinnarkar, and M. K. Chaudhary, "Simulation of Micro Wind Turbine Blade in *Q-Blade*," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. V, no. IV, pp. 256–262, 2017, doi: 10.22214/ijraset.2017.4048.
- [13] J. Jamal, "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Savonius," *INTEK J. Penelit.*, vol. 6, no. 1, pp. 64–68, 2019, doi: 10.31963/intek.v6i1.1127.
- [14] M. A. Ghofur, M. I. P. Putra, and R. A. Funny, "Perancangan dan simulasi Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dengan variasi jumlah blade dan variasi sudut pitch serta analisis power, torque dan thrust menggunakan aplikasi *Q-Blade*," *Pros. Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Kedirgant.*, vol. 6, pp. 133–144, 2020, doi: 10.28989/senatik.v6i0.420.
- [15] R. V. Deshmukh, R. L. Karwande, and M. D. Irfan, "A REVIEW OF OPTIMIZATION OF SMALL WIND TURBINE AT LOW SPEED," *Int. Res. J. Mod. Eng. Technol. Sci.*, vol. 04, no. 01, pp. 8–10, 2022.