

Rancang bangun sistem penangkap sampah Daerah Aliran Sungai (DAS) berbasis integrasi *screw conveyor* dan sistem pemantauan menggunakan *Internet of Things (IoT)*

Putu Brahmada Sudarsana¹⁾, I Made Putra Arya Winata¹⁾, I D. G. Ary Subagia^{1)*}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana

Naskah diterima 15/04/2021; direvisi 24/07/2021; disetujui 30/08/2021

doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2021.v14.i01.p01>

Abstrak

Sampah yang mengalir di sungai menimbulkan beberapa masalah di berbagai aspek, terutama pada aspek lingkungan. Salah satu mekanisme penangkapan sampah yang banyak diterapkan adalah rak sampah. Namun, studi menunjukkan bahwa rak sampah berpotensi menghalangi aliran sungai yang meningkatkan risiko bencana banjir. Penelitian ini mengajukan mekanisme penangkapan sampah berbasis *screw conveyor* dengan variasi desain bilah menyerupai rak sampah terintegrasi sistem pemantauan menggunakan *internet of things*. Penelitian dilakukan melalui tiga metode secara *virtual prototyping*, metode perancangan desain CAD (*Computer-Aided Design*) melalui kalkulasi elemen mesin dan desain 3 dimensi pada *software Autodesk Inventor Professional 2018*, metode analisis desain meliputi analisis *computational fluid dynamics* dan analisis tegangan tiga dimensi menggunakan ANSYS, serta metode perancangan dan pengujian sistem *monitoring* dengan perangkat *open-source NodeMCU* dan *real-time database* Google Firebase. Perancangan desain CAD memperoleh desain dan spesifikasi komponen *screw conveyor*, sistem transmisi *v-belt*, *ball contact bearing*, serta motor listrik dengan kapasitas penangkapan sampah sebesar 0,368 m³/s. Hasil validasi desain menunjukkan kecepatan aliran air saat melewati geometri desain tidak berkurang secara signifikan serta mampu menahan kombinasi beban *self-load* dan beban tekanan akibat aliran air. *Website monitoring* telah mampu menampilkan data yang diakusisi sensor secara *real-time*.

Kata Kunci: sampah sungai, *screw conveyor*, CAD/CAE, elemen mesin, *internet of things*.

Abstract

Waste material flowing in rivers creates several problems in various aspects, especially in environmental aspects. One of the waste-capturing mechanisms which is widely applied is the trash rack. However, studies show that trash racks have the potential to block river flow which increases the risk of flooding. This study proposes a screw conveyor-based waste capturing mechanism with a modification of the blade's design resembling a trash rack and integrated with monitoring system using the internet of things. The research was conducted through three methods of virtual prototyping, the CAD (Computer-Aided Design) design method through calculation of machine elements and 3-dimensional design process using Autodesk Inventor Professional 2018 software, the design analysis method which includes computational fluid dynamics analysis and three-dimensional stress analysis using ANSYS software, as well as methods for designing and testing monitoring systems using the open-source NodeMCU board and Google Firebase real-time database. The result obtained from this research are the design and specifications of screw conveyor components, v-belt transmission systems, ball contact bearings, and electric motors with a waste-capturing capacity of 0.368 m³/s. The results of the design validation show that the velocity of water flowing through the design geometry is not significantly reduced and the design is able to withstand a combination of self-load and pressure loads due to water flow. The monitoring website has been able to display real-time sensor-acquired data.

Keywords: trash in river, screw conveyor, CAD / CAE, machine elements, internet of things.

1. Pendahuluan

Sungai adalah daerah aliran air yang telah menjadi salah satu sumber kehidupan umat manusia dan makhluk hidup. Aliran air di sungai terjadi secara alami dari hulu ke hilir di mana kecepatan alirannya tergantung pada kemiringan kontur sungai [1]. Berbagai macam material yang dialirkan melalui sungai, salah satunya adalah sampah dari rumah tangga dan industri. Sampah sebagai material limbah, baik organik maupun anorganik seringkali bertaburan memenuhi di daerah aliran sungai (DAS). Hal ini menimbulkan beberapa masalah di berbagai aspek terutama di aspek lingkungan, berupa pencemaran ekosistem. Selain itu, meningkatnya jumlah sampah di daerah aliran sungai karena percepatan urbanisasi juga menimbulkan masalah lain yang lebih spesifik [2]. Antara sampah akan muncul sebagai penumpukan di daerah aliran sungai,

yang berpotensi dapat menghalangi aliran air dan meningkatkan risiko banjir [3], merusak infrastruktur [4], atau sampah akan terus mengalir ke daerah pantai, merusak ekosistem dan pariwisata yang lebih luas.

Sebagai upaya untuk mengendalikan masalah-masalah ini, Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) telah mengusulkan agenda 2030 untuk pembangunan berkelanjutan (SDGs), salah satunya memastikan keberlanjutan dan ketersediaan air bersih untuk sanitasi dan mencegah meningkatnya jumlah polusi di lautan, laut, dan sumber daya laut [5]. Sebelum agenda 2030 diterbitkan pada tahun 2015, banyak teknologi dan penemuan telah dikembangkan untuk mengatasi masalah sampah terutama pada aliran sungai. Teknologi yang paling umum adalah rak/jaring sampah, dalam wujud susunan batang persegi panjang dengan ketebalan

*Korespondensi: Tel.: +6281353651467
E-mail: arsubmt@me.unud.ac.id

tertentu [6], dimodifikasi dengan mekanisme konveyor sebagai alat penyaringan sampah di badan air yang bergerak [7], [8]. Desain dari penemuan ini banyak digunakan saat ini dan telah terbukti cukup efektif untuk menyaring sampah di sungai yang terletak di dekat daerah perkotaan. Namun, peralatan ini berpotensi memblokir sungai sepenuhnya dan meningkatkan risiko banjir [3]. Namun, desain rak sampah memiliki potensi yang sama untuk memblokir saluran. Persentase penyumbatan puing yang dianalisa oleh [3] dapat dikurangi melalui peningkatan jarak *bar*. Langkah ini tentu efektif untuk mengurangi potensi rak sampah yang menghalangi saluran/sungai, akan tetapi fungsi utama alat untuk menyaring sampah juga akan berkurang karena semakin banyak sampah yang dapat hanyut bersama dengan aliran air.

Alat penyaring dan penangkap sampah yang telah dikembangkan lainnya adalah alat dengan mekanisme sekrup konveyor dengan posisi miring vertikal, dirancang untuk aliran kecil air limbah industri [9]. Meskipun bersifat mudah dipindahkan dibandingkan dengan mekanisme rak sampah yang diam pada tumpuan, penemuan ini hanya dapat sesuai dengan saluran kecil sistem air limbah industri. Sementara itu, pengembangan alat dengan mekanisme sekrup konveyor [9] diajukan oleh Irawan, *et al.* [10] dengan kombinasi sekrup konveyor miring dan horisontal dan kincir air, memungkinkan untuk menangkap dan menggiring sampah di sepanjang badan sungai langsung ke wadah sampah. Namun, pengembangan desain ini masih bertentangan dengan perilaku sungai yang berfluktuasi [1]. Sebagai konsekuensinya, saat kecepatan aliran sungai rendah, alat akan tidak fungsional dan memblokir sungai sehingga berpotensi menyebabkan penumpukan sampah hingga banjir.

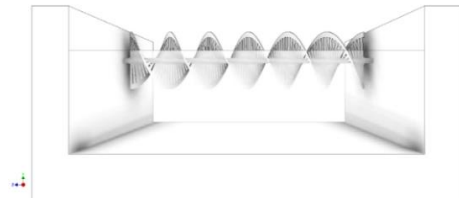
Berdasarkan pada pengembangan desain mekanisme *screw conveyor* oleh C. Lind dan Quast [9] dan Irawan, *et al.* [10], perancangan ini bertujuan untuk mendesain alat penangkap sampah berbasis - *screw conveyor* dengan mengintegrasikan konsep *screw* dengan variasi desain menyerupai rak pada bilah dan motor listrik sebagai penggerak untuk meningkatkan intensitas penangkapan sampah dan sejalan dengan perilaku aliran sungai yang berfluktuasi [1]. Desain yang dirancang merupakan variasi generasi kedua dari mekanisme sekrup-kincir air (CIRRUPTIS) yang diusulkan oleh [10]. Validasi dan verifikasi hasil perancangan dilakukan dengan metode simulasi elemen hingga menggunakan *software* ANSYS. Metode perancangan alat dilakukan dengan pendekatan *virtual prototyping* yang meliputi perancangan desain CAD (*Computer-Aided Design*) dan verifikasi awal desain menggunakan CAE (*Computer-Aided Engineering*) serta pengujian sistem *monitoring* dengan data virtual. Melalui metode *virtual prototyping*, diperoleh spesifikasi detail desain dan unjuk kerja desain teoritis sebagai dasar acuan perancangan prototipe nyata.

2. Metode Penelitian

2.1. Metode Perancangan Desain CAD

Desain bilah *screw* pada alat penangkap sampah DAS divariasikan dengan geometri rak sampah untuk mengurangi beban kerja poros sistem. Gambar 1 menunjukkan desain konseptual dengan estimasi dimensi awal. Parameter yang ditetapkan untuk tahapan perancangan adalah ukuran badan sungai sebesar 5 meter serta beberapa data pendekatan kondisi sungai yang mengacu pada desain konseptual sebagai estimasi awal ditunjukkan pada Tabel 1.

Metode Perancangan Desain CAD



Gambar 1. Desain konseptual screw conveyor sebagai penangkap sampah DAS

Tabel 1. Parameter desain blade screw

Parameter	Nilai
Radial clearance, <i>c</i>	0,05 m
Diameter Screw, <i>D</i>	1,1 m
Diameter shaft, <i>d_s</i>	0,1 m
Pitch, <i>p</i>	735 mm
Jumlah pitch, <i>n</i>	6
Ketebalan bilah screw, <i>t_s</i>	15 mm

Kebutuhan daya (*P*) untuk menggerakkan sistem *screw* dapat dinyatakan sebagai Persamaan (1)

$$P = \frac{W d_s \pi N}{60} \quad (1)$$

Sistem transmisi

Sistem *screw* akan membutuhkan sistem transmisi yang digunakan untuk meneruskan daya dari sumber tenaga motor listrik. Proses desain sistem transmisi berupa *V-Belt* dilakukan dengan merujuk pada daya motor listrik dan estimasi beban dari bilah *screw* serta dilakukan berdasarkan kalkulasi rumus dasar elemen mesin [11]. Berdasarkan dimensi standar *V-Belt* sesuai dengan IS: 2494 – 1974 [11], maka *belt* yang digunakan adalah tipe B. Pendataan dimensi sesuai standard IS: 2494 – 1974 dan data-data estimasi untuk desain ditabulasikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter desain sistem transmisi *v-belt*

Parameter	Nilai
Pulley rim tension σ_t	1 MPa
Densitas material pulley (<i>cast iron</i>)	7200 kg/m ³
Kecepatan angular driver (<i>N₁</i>)	973 rpm
Kecepatan angular driven (<i>N₂</i>)	250 rpm
Lebar <i>V-Belt</i> (bagian atas), <i>b</i> (<i>Type B V-Belt IS: 2494 – 1974</i>)	17 mm
Tebal <i>V-Belt</i> , <i>t_{belt}</i> (<i>Type B V-Belt IS: 2494 – 1974</i>)	11 mm
Groove angle, 2β	34°
Densitas <i>V-Belt</i> , ρ_{belt} (Material <i>Rubber</i>)	1140 kg/m ³
Allowable <i>v-belt</i> stress, σ_{belt}	2 Mpa

Jarak antara *pulley*, x 1065 mm

Penentuan diameter pulley (d_2) didasarkan dengan hubungan Persamaan (2) dan Persamaan (3),

$$d_1 = \frac{60v}{\pi N_1} \quad (2) \quad d_2 = \frac{d_1 N_1}{N_2} \quad (3)$$

serta dengan nilai v ditentukan dengan Persamaan (4).

$$v = \sqrt{\frac{\sigma_t}{\rho}} \quad (4)$$

Untuk jumlah v -belt dan panjang v -belt (L_{belt}) menggunakan kalkulasi yang diperoleh dengan Persamaan (5) dan Persamaan (6).

$$\text{Jumlah belt} = \frac{P_M}{P_T} \quad (5)$$

$$L_{belt} = \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) + 2x + \frac{(d_2 + d_1)^2}{4x} \quad (6)$$

Perancangan poros

Poros dirancang berdasarkan pembebanan kombinasi torsi (T) dan momen *bending* (M) serta beban fluktuatif merujuk perumusan pada [11] dengan kalkulasi dari persamaan (7) dan Persamaan (8).

$$T = \frac{P \times 60}{2 \pi N} \quad (7)$$

serta,

$$M = \frac{W \times L}{4} \quad (8)$$

Dengan variabel T dan M yang diperoleh, dapat ditinjau diameter poros dengan dua pendekatan, yaitu pendekatan momen puntir *equivalent* serta momen *bending equivalent* yang ditunjukkan dengan persamaan (9),

$$T_e = \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t \times T)^2} = \frac{\pi}{16} \times \tau \times (d_s)^3 \quad (9)$$

serta Persamaan (10).

$$M_e = \frac{1}{2} [K_m \times M + \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t \times T)^2}] = \frac{\pi}{32} \times \sigma_b \times (d_s)^3 \quad (10)$$

Dengan dua nilai d_s yang diperoleh akan digunakan nilai yang lebih besar dengan pertimbangan keamanan. Beberapa data acuan yang digunakan dalam proses desain poros ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter desain poros

Parameter	Nilai
Kecepatan putar poros, N	250 rpm
Beban poros, W	1552,22 N
Jarak pembebanan, L	2,5 m
Maximum shear stress, τ (<i>safety factor</i> =6, <i>Aluminium 6061</i>) [11]	34,5 MPa
Bending stress, σ_b (<i>safety factor</i> =6, <i>Aluminium 6061</i>) [11]	46,67 MPa
Gabungan faktor <i>shock</i> dan <i>fatigue</i> untuk <i>bending</i> , K_m [11]	1,5 (<i>Rotating shaft, gradually applied with minor shocks</i>)
Gabungan faktor <i>shock</i> dan <i>fatigue</i> untuk torsi, K_t [11]	1,5 (<i>Rotating shaft, gradually applied with minor shocks</i>)

Perencanaan sistem tumpuan

Sistem tumpuan dari poros pada *screw conveyor* harus mampu menahan kondisi

pembebanan tinggi dan kondisi dinamis berupa perputaran. Selain itu, kondisi lingkungan seperti kandungan air juga menjadi dasar pertimbangan dalam merancang sistem tumpuan yang tangguh. Pada perancangan alat ini, sistem tumpuan yang dipilih adalah *rolling contact bearing*. Pemilihan desain dilakukan sesuai dengan katalog produk sesuai dengan hasil perhitungan rating beban dinamis berdasarkan rumus dasar perhitungan elemen mesin pada [11] dan [12]. Tabel 4 menunjukkan parameter yang ditetapkan untuk kajian data desain tumpuan.

Tabel 4. Parameter desain sistem tumpuan *rolling contact bearing*

Parameter	Nilai
Umur pakai <i>bearing</i>	10 tahun
Waktu pemakaian <i>bearing</i> per hari	20 jam
Beban radial, W_R	3000 N
Beban axial, W_A	2000 N
Kecepatan putar, N	250 rpm
X $\left(\frac{W_A}{C_0} = 0.5\right), \left(\frac{W_A}{W_R} > e\right)$, (sesuai Tabel standard pada [11])	0,56
Y $\left(\frac{W_A}{C_0} = 0.5\right), \left(\frac{W_A}{W_R} > e\right)$, (sesuai Tabel standard pada [11])	1,0
Faktor rotasional, V	1,0
k	3 (<i>ball bearing</i>)

Penentuan umur pakai *bearing* dalam hitungan revolusi dapat menggunakan persamaan berikut.

$$L_{ar} = 60NL_H \quad (11)$$

Selain dengan persamaan tersebut, katalog SKF memiliki pendekatan lain dalam menentukan umur *bearing* dengan menentukan terlebih dahulu parameter *basic dynamic equivalent radial load* (W) serta *basic dynamic load rating* (C), yang ditunjukkan berturut-turut dengan Persamaan (12) dan Persamaan (13), sehingga kalkulasi umur *bearing* diperoleh dengan persamaan (14).

$$W = XVW_R + YW_A \quad (12)$$

$$C = W \left(\frac{L_{ar}}{10^6}\right)^{1/k} \quad (13)$$

$$L_{ar} = \left(\frac{C}{W}\right)^k \times 10^6 \quad (14)$$

Dengan peninjauan seluruh komponen, diperoleh faktor geometris *blade screw* (r) yang dinyatakan dengan Persamaan (15).

$$r = \frac{1}{n} \left[\left(1 + 2\frac{c}{d}\right)^2 - \left(\frac{d_s}{d}\right)^2 \right] \left[\frac{p}{d} - \frac{t_s}{d} \right] \quad (15)$$

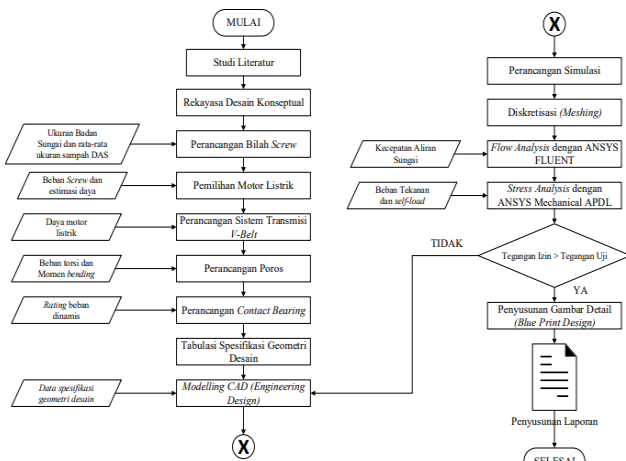
Untuk memperoleh unjuk kerja desain berupa kapasitas penangkapan sampah, digunakan perhitungan berdasarkan kajian teoritis *screw conveyor* oleh Roberts [13], yang dinyatakan dengan Persamaan (16).

$$\eta_v = \left(\frac{h_{av}}{p}\right) \left(1 - \frac{p(p + 2\pi\mu_s r)}{4\pi^2 r^2 + p^2}\right) \quad (16)$$

dengan kapasitas total sampah maksimal secara teoritis ditunjukkan dengan Persamaan (17).

$$Q_t = r\omega D^3 \quad (17)$$

Alat akan didesain dengan kondisi setengah tenggelam (mengapung). Desain konseptual menunjukkan bahwa saat sistem bekerja dengan kecepatan putaran tertentu, sampah aliran akan secara otomatis tergiring ke pinggir sungai sehingga menghindari penumpukan sampah pada aliran air utama. Desain rekayasa detail (*engineering design*) membutuhkan eksekusi prosedur perancangan dengan kaidah-kaidah perancangan. Pada perancangan sistem ini, metode yang diterapkan merupakan *virtual prototyping*. *Virtual prototyping* merupakan pendekatan metode manufaktur dengan simulasi/komputasi data yang mampu ditampilkan, dianalisa, dan diuji terhadap *engineering design*, metode manufaktur, dan layanan tertentu [14]. Pada penelitian ini, tahapan perancangan secara garis besar meliputi konstruksi desain CAD (*Computer-Aided Design*) menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2018 melalui kalkulasi elemen mesin sistem, verifikasi awal desain dengan CAE (*Computer-Aided Engineering*) menggunakan *software* ANSYS, serta konstruksi sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* dengan Firebase sebagai *data platform*. Secara garis besar, skematik proses (*flow chart*) konstruksi desain CAD hingga tahapan verifikasi dengan CAE sistem penangkap sampah ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir (*flowchart*) perancangan desain sistem penangkap sampah DAS

2.2. Metode Analisis dengan Simulasi ANSYS

Metode analisis desain dilakukan menggunakan *software* ANSYS. Pada simulasi ini, digunakan dua tipe *solver*, yaitu ANSYS Fluent dan ANSYS Mechanical APDL. ANSYS Fluent digunakan untuk simulasi *computational fluid dynamics* (CFD), sedangkan ANSYS Mechanical APDL digunakan untuk analisis tegangan 3 dimensi. Kedua tipe *solver* tersebut memiliki prosedur analisis yang sama meliputi *pre-processing*, *solver*, dan *post-processing*. Pada analisis menggunakan ANSYS Fluent, *pre-processing* dilakukan dengan *import geometry* melalui *software* CAD Autodesk Inventor 2018, pembuatan *enclosure* sistem sebagai batasan pergerakan aliran, *meshing*, *input* kecepatan aliran air dan material desain yang digunakan, model analisis, dan parameter dalam melakukan iterasi. Proses *meshing* dilakukan dengan pengaturan *default*. Pada *solver* Fluent, dilakukan pengaturan berupa material yang digunakan (air dan Aluminium)

serta kecepatan aliran air dari *inlet* sebesar 2 m/s. Model analisis yang dipilih adalah Laminar dan iterasi dilakukan sebanyak 80 kali dengan *pseudo time step* 0,5. Terakhir proses *post-processing* dilakukan dengan membaca data hasil iterasi oleh *solver* ANSYS Fluent dan divisualisasikan dalam kontur kecepatan dari aliran air, dan vector arah pergerakan kecepatan aliran pada *screw*.

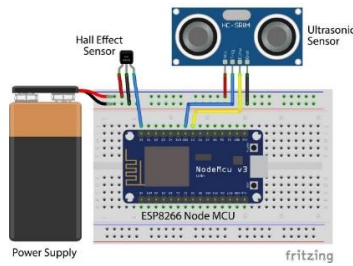
Data tekanan yang diperoleh pada simulasi CFD digunakan untuk simulasi analisa tegangan 3 dimensi dengan *solver* ANSYS Mechanical APDL dengan sistem analisis *Static Structural*. Pada tahap *pre-processing* dilakukan *input* data material melalui *engineering data library* pada ANSYS, *import geometry* melalui *software* CAD Autodesk Inventor 2018, *meshing*, pengkondisian beban *self-load* dan tekanan air serta penentuan tumpuan, dan penetapan solusi berupa *Von Mises Stress* dan *Total Deformation*. Material yang digunakan adalah Aluminium Alloy dengan standar karakteristik pada ANSYS. Proses *Meshing* dilakukan dengan pengaturan *default*. Beban *self-load* sebesar 826,93 N diberikan pada poros sistem dan dikombinasikan dengan beban tekanan sebesar 2166 Pa (*surface effect*). *Post-processing* analisis berupa visualisasi distribusi tegangan uji ekuivalen (*Von Mises Stress*) dan deformasi yang terjadi pada desain. Hasil tersebut akan dibandingkan dengan tegangan izin untuk validasi kekuatan desain terhadap beban dasar.

Tabel 5. Karakteristik material Aluminium Alloy pada Engineering Data ANSYS

Parameter	Nilai
Densitas	2770 kg/m ³
Modulus Elastisitas	71 GPa
Poisson's Ratio	0,33
Tensile Yield Strength	280 MPa
Tensile Ultimate Strength	310 MPa

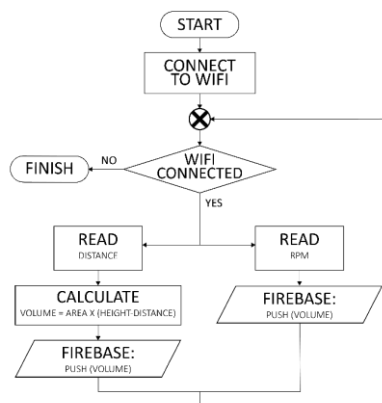
2.3. Perancangan Sistem Monitoring berbasis Internet of Things

Perancangan sistem *monitoring* pada alat menerapkan konsep *Internet of Things* dan *hardware open-source* NodeMCU. Pada sistem *monitoring* ini, *data platform* yang digunakan adalah Google Firebase. NodeMCU mampu memberikan perintah kontrol kepada sensor serta mengakuisisi data dari sensor. Sensor yang digunakan adalah Ultrasonic Sensor (tipe HC-SR04) sebagai pendeteksi volume sampah pada penampungan sementara dan Hall Effect Sensor (tipe A3144) sebagai pendeteksi kecepatan putaran poros untuk mitigasi terjadinya kegagalan proses kerja mesin. Skema penyusunan *hardware* sistem *monitoring* divisualisasikan pada Gambar 3 menggunakan *software* fritzing.



Gambar 3. Skema penyusunan *hardware* pada sistem *monitoring* alat

Algoritma sistem ditunjukkan pada Gambar 4. Algoritma kerja sistem *monitoring* dimulai dengan *connect power* dan *wifi*. Selanjutnya, melalui *input* data ketinggian sampah, sensor ultrasonik membaca dan mengakuisisi data tersebut. Sensor *hall effect* mendeteksi dan mengakuisisi *input* laju putaran (rpm). Data yang telah diakuisisi kemudian ditransmisikan ke *real-time* Database Firebase dengan terhubung pada Access Point. Web App dirancang sebagai *User Interface* (UI) sistem *monitoring*. Web tersebut terhubung langsung dengan *real-time* database Firebase sehingga mampu menampilkan data yang diakuisisi oleh sensor. Pengujian dan validasi sistem *monitoring* dilakukan terhadap data pengujian virtual untuk mendapatkan tampilan unjuk kerja dari sistem melalui *user interface*.



Gambar 4. Diagram algoritma sistem *monitoring* pada alat

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Desain CAD sistem penangkap sampah DAS

Bilah *screw* dan estimasi daya

Desain bilah *screw* dirancang berdasarkan konsep *screw* yang telah dipatenkan oleh Okada, et al. [15] dan dikalkulasikan sesuai studi teoritis yang dilakukan oleh Roberts [13]. Dengan menggunakan data desain konseptual Tabel 1 dan estimasi beban menggunakan fitur *iProperties* pada Autodesk Inventor 2018 diperoleh beban *screw* sebesar 155,222 kg dengan tingkat relatif error 0,008737%. Material yang digunakan adalah Aluminium 6061 dengan densitas material 2,7 g/cm³. Terdapat parameter yang tidak masuk dalam kalkulasi namun berpengaruh pada perhitungan adalah panjang *screw*. Panjang *screw* didasari pada penetapan estimasi panjang sungai sebesar 5 meter. Dengan demikian, melalui Persamaan (1) diperoleh kebutuhan daya sebesar 6805,24 kW pada kecepatan putaran 250 rpm.

Motor listrik dan sistem transmisi

Motor listrik yang digunakan sesuai dengan katalog produk motor listrik OMEC. Berdasarkan proses pemilihan, motor listrik yang digunakan adalah tipe OMT1 IE3 6-Pole dengan rating 1000 rpm dengan *designed power* 7,5 kW dan voltase 220-240/380-420V. Pemilihan motor listrik ini didasari hasil perhitungan estimasi daya sebesar 6805,24 kW. Desain transmisi ditinjau dengan parameter desain dan besar daya yang telah diperoleh. Sehingga, melalui Persamaan (2) dan Persamaan (3) nilai diameter *pulley* diperoleh sebesar 0,23 meter pada sisi *driver* (d_1) dan 0,9 meter sisi *driven* (d_2). Selain itu, melalui parameter tersebut serta Persamaan (5) dan Persamaan (6) berturut-turut diperoleh jumlah *v-belt* sebanyak 4 serta panjang *v-belt* adalah 4,2 meter. Jarak *groove* antara *pulley* sebesar 19 mm dengan menggunakan IS: 2494 – 1974. Pada Autodesk Inventor 2018, *v-belt* yang digunakan adalah *V-Belt* DIN 2215 yang memiliki panjang, tebal, dan lebar sesuai dengan hasil kalkulasi.

Perancangan poros

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa diameter poros yang sesuai berdasarkan momen puntir/torsi *equivalent* melalui Persamaan (9) adalah 65 mm. Sedangkan diameter poros berdasarkan pembebanan momen *bending equivalent* melalui Persamaan (10) adalah 70 mm. Untuk desain struktur poros pada alat, digunakan hasil perhitungan diameter poros berdasarkan pembebanan momen *bending equivalent* sebesar 70 mm.

Perencanaan sistem tumpuan

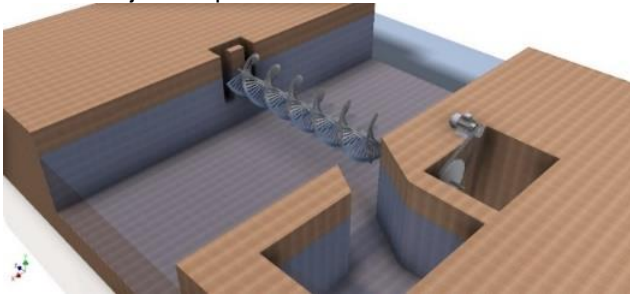
Sistem tumpuan dikalkulasikan dengan menggunakan data parameter pada Tabel 4. Sehingga, melalui Persamaan (11) dan Persamaan (12) dengan data tersebut menghasilkan umur pakai bearing sebesar 1095×10^6 revolusi serta *basic dynamic equivalent radial load* sebesar 3680 N. Sementara, melalui katalog SKF, melalui Persamaan (13) dan Persamaan (14) berturut-turut diperoleh *basic dynamic load rating* dengan nilai 37,93 kN dan umur pakai $1255,53 \times 10^6$ revolusi.

Menurut katalog SKF *rolling contact bearing*, tipe *single row deep groove ball bearing* dengan *rating* beban dinamis yang mendekati 37,93 kN dengan diameter lubang 70 mm memiliki dimensi diameter utama (keseluruhan) (D) sebesar 110 mm dan ketebalan (B) 20 mm. *Rating* beban dinamis sesuai katalog SKF adalah 39,7 kN. Berat *bearing* berkisar antara 0,61 – 0,7 kg. *Bearing* yang dipilih merupakan SKF-*Single row deep groove ball bearing* 6014-2Z.

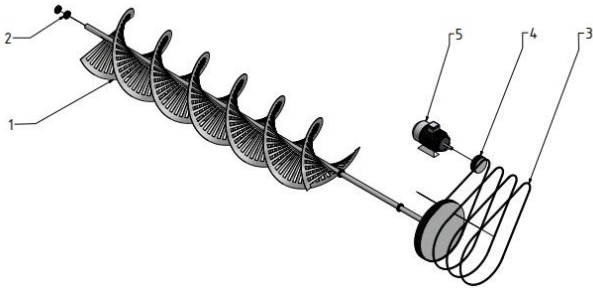
Desain dan spesifikasi

Data parameter desain CAD merujuk pada perhitungan dan asumsi dasar pada perhitungan. Desain sistem penangkap sampah ini meliputi *screw conveyor* dengan desain bilah menyerupai rak sampah, motor listrik 7,5 kW, 4 komponen *V-Belt* DIN 2215, 2 komponen *pulley*, dan 4 komponen SKF-*Single row deep groove ball bearing* 6014-2Z. Desain

isometri gabungan komponen mesin dan desain detail ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Desain isometri sistem penangkap sampah berbasis *screw conveyor* dan IoT



Gambar 6. Desain detail sistem penangkap sampah yang terdiri dari *screw conveyor* (1), SKF *Single row deep groove ball bearing* (2), 17/B-DIN 2215 *classical wrapped v-belt* (3), *pulley* (4), dan motor listrik (5).

Tabel 6. Spesifikasi Geometri alat penangkap sampah DAS

Parameter	Spesifikasi Geometri
Screw Conveyor	
<i>Radial clearance, C</i>	20 mm
Diameter Screw, D	1070 mm
Diameter shaft, d_c	70 mm
<i>Pitch, p</i>	735 mm
Jumlah <i>pitch, n</i>	6
Ketebalan bilah screw, t_s	3 mm
Panjang sisi-sisi lubang <i>screw blade</i>	375 mm
Lebar sisi luar lubang <i>screw</i>	45 mm
Lebar sisi dalam lubang <i>screw</i>	22 mm
Jumlah geometri lubang	36
Sistem Transmisi	
Diameter <i>Pulley Driver</i>	230 mm
Diameter <i>Pulley Driven</i>	900 mm
Lebar <i>V-Belt</i> (bagian atas), b (<i>Type B V-Belt IS: 2494 – 1974</i>) (<i>DIN 2215</i>)	17 mm
Tebal <i>V-Belt, t_{belt}</i> (<i>Type B V-Belt IS: 2494 – 1974</i>) (<i>DIN 2215</i>)	11 mm
Panjang total satu <i>v-belt DIN 2215</i>	4043 mm
Ball Contact Bearing	
Diameter lubang	70 mm
Diameter <i>bearing</i> keseluruhan	110 mm
Lebar <i>bearing</i>	20 mm

Spesifikasi geometri desain yang meliputi dimensi secara keseluruhan ditampilkan pada Tabel 6. Hasil keseluruhan akan ditabulasikan menjadi spesifikasi detail dari alat penangkap sampah pada Gambar 6. Untuk data *Geometry Factor Blade Screw*, melalui Persamaan (15) dan Persamaan (16), nilai r yang diperoleh sebesar 0,122 dan efisiensi *volumetric screw blade* 0,592. Sehingga, dengan kapasitas penangkapan sampah teoritis $0,6227 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan Persamaan (17), total kapasitas penangkapan sampah oleh alat diperoleh $0,368 \text{ m}^3/\text{s}$.

Merujuk pada spesifikasi geometri alat dan kalkulasi kapasitas penangkapan sampah oleh alat diatas, spesifikasi alat dapat dijabarkan pada Tabel 7. Spesifikasi pada Tabel tersebut merupakan spesifikasi secara umum, sehingga beberapa data pada spesifikasi geometri desain tercantum pada spesifikasi umum. Spesifikasi keseluruhan secara detail meliputi gabungan isi dari spesifikasi geometri desain dan spesifikasi umum.

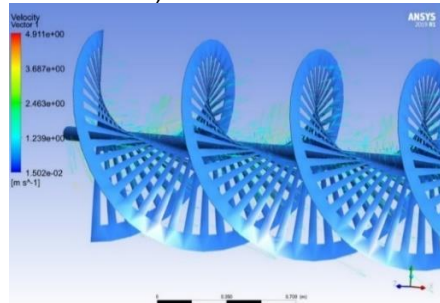
Tabel 7. Spesifikasi umum alat penangkap sampah DAS

Parameter	Spesifikasi Geometri
Screw Conveyor	
Berat	100,358 kg
Kapasitas Penangkapan	$0,368 \text{ m}^3/\text{s}$
Diameter <i>blade</i>	1,07 m
<i>Pitch blade</i>	0,735 m
Diameter poros	0,07 m
Panjang poros	6,7 m
Luas area lubang	$0,0125625 \text{ m}^2$
Sistem Transmisi	
Diameter <i>Pulley Driver</i>	230 mm
Diameter <i>Pulley Driven</i>	900 mm
Tipe <i>V-Belt</i>	17/B – DIN 2215 Clasical Wrapped V-Belt 17 x 4000
Jumlah <i>V-Belt</i>	4
Ball Contact Bearing	
Tipe <i>Bearing</i>	SKF- <i>Single row deep groove ball bearing 6014-2Z</i>
Umur pakai <i>bearing</i>	10 tahun
<i>Rating life</i>	$1255,53 \times 10^6$ revolusi
Motor Listrik	
Tipe Motor Listrik	OMT1 IE3 6-Pole 1000 rpm
<i>Design Power Rating</i>	7,5 kW

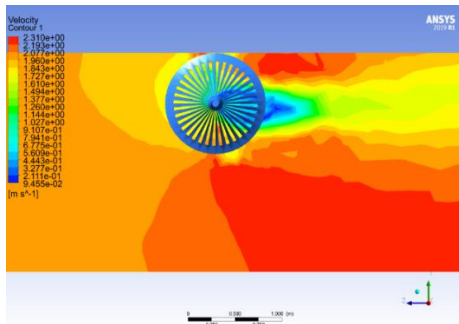
3.2. Simulasi CAE desain CAD sistem penangkap sampah DAS Simulasi *computer fluid dynamics* (CFD)

Desain *screw* pada analisis ini berada dalam kondisi *force majeure* dimana seluruh *screw* dalam kondisi tenggelam dan stasioner. Selain untuk mendapatkan parameter tekanan maksimum pada desain, tujuan analisis tenggelam ini juga untuk mempelajari respon arah pergerakan aliran air terhadap desain *screw*. Gambar 7 menunjukkan pergerakan aliran air menuju lubang-lubang pada bilah *screw*. Kecepatan aliran bergerak dari arah *inlet*

dengan kecepatan *uniform* sebesar 2 m/s. saat melewati desain *screw conveyor* terjadi pengurangan kecepatan secara signifikan pada bagian poros desain hingga 0,2 m/s. Pada bagian bawah desain yang tidak terhalang, terjadi peningkatan hingga mencapai kecepatan 2,3 m/s. Bila ditelisik lebih detail pada bagian sekitaran *screw conveyor*, pengurangan kecepatan pada *blade screw* tidak terjadi signifikan dimana pengurangan terjadi hingga kecepatan 1,8 m/s (pada Gambar 8).



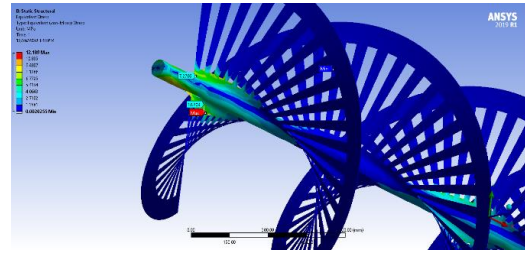
Gambar 7. Vektor kecepatan aliran air pada desain *blade screw*



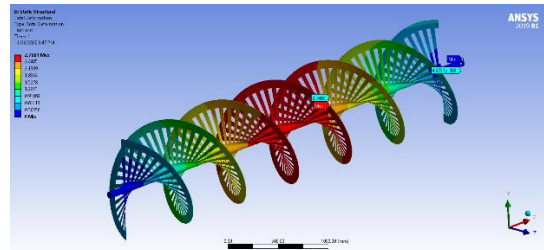
Gambar 8. Kontur kecepatan aliran air di sekitar *screw conveyor*

Analisa tegangan 3 dimensi

Hasil simulasi pada sistem analisis *Static Structural* menunjukkan bahwa Von Mises Stress pada poros berkisar pada 2,7102 MPa hingga 9,4807 MPa. Nilai tersebut sangat jauh dibandingkan dengan tegangan izin (*allowable tensile stress*) sebesar 46,67 MPa (dengan acuan *safety factor* sebesar 6). Von Mises Stress maksimum pada kisaran 10,209 MPa hingga 12,189 MPa terjadi pada sambungan bilah *screw* dengan poros (Gambar 9). Nilai tersebut masih dibawah nilai tegangan izin sebesar 46,67 MPa. Secara keseluruhan, proses perancangan *screw conveyor* tervalidasi dan sistem mampu bekerja tanpa mengalami gangguan signifikan ataupun kegagalan struktur material. Distribusi deformasi total yang terjadi akibat pembebanan pada alat penangkap sampah DAS ditunjukkan pada Gambar 10. Total deformasi maksimum yang terjadi adalah 2,7501 mm pada sisi tengah desain.



Gambar 9. Tampak dekat distribusi Von Mises Stress pada sambungan bilah *screw* dan poros *screw*

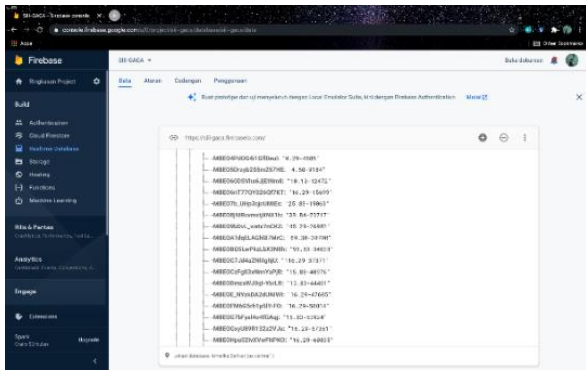


Gambar 10. Distribusi deformasi total pada desain *screw conveyor*

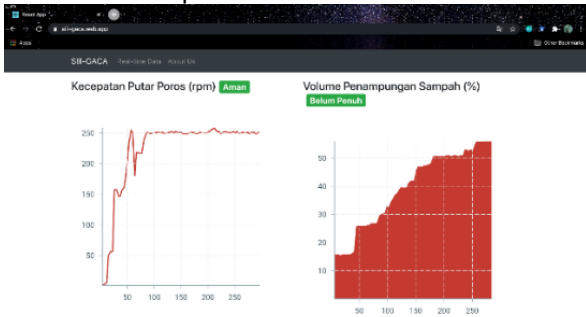
3.3. Sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things (IoT)*

Penerapan konsep *internet of things* untuk sistem *monitoring* menghasilkan *user interface* website yang dapat memberikan grafik untuk data yang berhasil ditransmisikan dari kerja sensor. *User Interface* website menampilkan dua grafik yang menunjukkan nilai data yang diakuisisi oleh sensor. Selain itu, terdapat tanda yang menunjukkan status terakhir dari keadaan sistem penangkap sampah, dengan parameter yang ditetapkan sehingga mempermudah pekerja teknis dalam melakukan pengawasan.

Pengujian sistem *monitoring* secara virtual pada sensor *hall effect* berupa pengiriman data oleh NodeMCU mulai dari 6582 *millisecond* hingga 296981 *millisecond*. Dari seluruh data yang terekam, kecepatan rotasi poros dimulai dari 1,29 rpm hingga berfluktuasi kecil pada 250 rpm. Deteksi kecepatan putaran ini berguna untuk mitigasi *shutdown* yang tidak diharapkan pada alat yang berpotensi memblokir aliran sungai. Pada sensor *ultrasonic*, NodeMCU mengirim data mulai dari 4585 ms hingga 284687 ms. Nilai saat pengiriman pertama menunjukkan 15,74% Volume tempat penampungan sampah sementara, hingga pada akhir perekaman nilai yang terkirim menunjukkan 55,94% Volume sampah. Sistem *monitoring* jumlah sampah ini dapat digunakan acuan petugas untuk menentukan waktu pengangkatan sampah dari penampungan sementara menuju Tempat Pembuangan Akhir (TPA).



Gambar 11. Tampilan *console* transmisi data *real-time* pada database Firebase



Gambar 12. User interface (UI) website sistem monitoring

4. Simpulan

Proses perancangan dari sistem penangkap sampah DAS berbasis integrasi *screw conveyor* dan sistem *monitoring internet of things (IoT)* telah dilakukan dan divalidasi melalui simulasi *computational fluid dynamics* dan analisa tegangan 3 dimensi. Selain itu, pengujian sistem *monitoring* secara virtual juga telah dilakukan dan menghasilkan tampilan grafik pada *website*. Hasil rancang bangun dan konstruksi *virtual prototype* sistem penangkap sampah DAS dengan desain *Screw Conveyor* dengan variasi lubang berbentuk trapesium pada bilah *screw* mampu secara efektif menjadi alternatif alat penangkap sampah pada Daerah Aliran Sungai dengan desain yang lebih sederhana dan tepat guna dengan kapasitas penangkapan sampah sebesar $0,368 \text{ m}^3/\text{s}$.

Daftar Pustaka

- [1] W. Komarawidjaja, "Prospek Pemanfaatan Penyaring Sampah Sungai dalam Implementasi Imbal Jasa Lingkungan di Daerah Aliran Sungai Ciliwung Segmen 2 Kota Bogor," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 18, no. 1, pp. 37–44, 2017.
- [2] J.-J. Dethier, "Trash, Cities, And Politics: Urban Environmental Problems in Indonesia," *Indonesia*, vol. 103, no. 103, pp. 73–90, 2017.
- [3] J. Blanc, "An analysis of the impact of trash screen design on debris related blockage at culvert inlets," Heriot-Watt University, 2013.
- [4] M. Zayed, A. El Molla, and M. Sallah, "An experimental study on angled trash screen in open channels," *Alexandria Eng. J.*, vol. 57, no. 4, pp. 3067–3074, 2018, doi: 10.1016/j.aej.2018.05.005.
- [5] United Nations, "TRANSFORMING OUR

WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT," 2015. doi: 10.1201/b20466-7.

- [6] J. M. Tsikata, C. Katopodis, and M. F. Tachie, "Experimental study of turbulent flow near model trashracks," *J. Hydraul. Res.*, vol. 47, no. 2, pp. 275–280, 2009, doi: 10.3826/jhr.2009.3381.
- [7] R. T. Steindorf, "TRASH REMOVING MECHANISM FOR WATER SCREENS," US1912020, 1933.
- [8] S. Riyanto, R. Kurnianto, H. S. Putra, and F. E. Harianto, "Rancang Bangun Inntopes (Innovation Tools Pengangkat Sampah) Pada Aliran Sungai," *Pelita - J. Penelit. Mhs. UNY*, vol. 11, no. 1, pp. 112–125, 2016.
- [9] A. C. Lind and G. W. Quast, "WASTE-FLOW SCREENING APPARATUS," US2929504, 1960.
- [10] M. D. Irawan, I. D. M. O. Dharmawan, P. B. Sudarsana, and I. D. G. A. Subagia, "DESAIN DAN PERANCANGAN KINCIR SEKURUP OTOMATIS (CIRRUPTIS) UNTUK MENANGKAP SAMPAH PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI," in *Konferensi Nasional Engineering Perhotelan X*, 2019, vol. 1, p. 1.
- [11] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A TEXTBOOK OF MACHINE DESIGN*, 1st ed. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD., 2005.
- [12] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 9th Editio. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [13] A. W. Roberts, "The influence of granular vortex motion on the volumetric performance of enclosed screw conveyors," *Powder Technol.*, vol. 104, no. 1, pp. 56–67, 1999, doi: 10.1016/S0032-5910(99)00039-X.
- [14] G. G. Wang, "Definition and review of virtual prototyping," *J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 232–236, 2002, doi: 10.1115/1.1526508.
- [15] M. Okada, E. Nagoshi, and Y. Matsumoto, "SELF-DRILLING SCREW," US4323326, 1982.

Nomenklatur

- Q_t kapasitas maksimum teoritis bilah *screw* tanpa rotasi (m^3/s)
 Q kapasitas *conveyor* (m^3/s)
 D diameter (m)
 c *radial clearance* (m)
 t_s ketebalan bilah *screw* (m)
 r screw radius (m)
 γ geometry factor (non-dimensional)
 η_F efisiensi kepenuhan
 η_V efisiensi volumetrik
 η_{VR} efisiensi putaran
 h_{av} tinggi rata-rata sampah pada permukaan screw
 μ_s koefisien gesekan pada permukaan screw
 ω angular velocity screw (rev/s)
 n jumlah pitch (vortex index)
 p screw pitch (m)

d_s diameter poros (m)
 ρ density (kg/m^3)
 g gravitational acceleration ($9,8 \text{ m/s}^2$)
 T torsion (Nm)
 M bending moment (Nm)
 τ allowable shear stress (MPa)
 σ_b allowable bending stress (MPa)
 N kecepatan putaran (rpm)
 T_e momen torsi ekuivalen (Nm)
 M_e momen bending ekuivalen (Nm)
 K_m gabungan faktor shock dan fatigue untuk bending
 K_t gabungan faktor shock dan fatigue untuk torsi
 W beban (N)
 L jarak pembebanan dari tumpuan (m)
 W_R beban radial (N)
 W_A beban aksial (N)
 C rating beban dinamis bearing (kN)
 L_{ar} rating life (revolusi)
 V faktor rotasional
 X faktor beban radial
 Y faktor beban thrust
 σ_t allowable tensile stress (MPa)

v kecepatan linier (m/s)
 N_1 kecepatan putaran pulley 1 (rpm)
 N_2 kecepatan putaran pulley 2 (rpm)
 d_1 diameter pulley 1 (m)
 d_2 diameter pulley 2 (m)
 P_T Power transmitted per belt (W)
 P_M Power transmitted by motor (W)
 T_1 tension pada tightside (N)
 T_2 tension pada slackside (N)
 x jarak antara pulley (m)
 L_{belt} panjang total belt (m)



Putu Brahmada Sudarsana merupakan mahasiswa S1 Teknik Mesin Universitas Udayana. Dibawah bimbingan Prof. I Dewa Gede Ary Subagia, PhD, Ia berhasil meraih penghargaan Medali Perak PIMNAS (Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional) 32 Tahun 2019 dan Medali Perunggu PIMNAS 33 Tahun 2020.