Daftar Isi

PENGARUH POSISI *SHIELDED METAL ARC WELDING* (SMAW) GERAK SPIRAL KAMPUH V TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON RENDAH 1
Nurfi Ahmadi, Fajar Nugroho, Dadang Ahmad A

SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK AERODINAMIKA PADA AIRFOIL NACA 4415 DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *GROUND EFFECT* 5
Rr Saskia Rianasari Hayuningtyas , Farhan Fathori Nugroho, Bahrul Jalaali

ANALISIS PERBANDINGAN KEPUASAN PENUMPANG PADA MASKAPAI PENERBANGAN YANG BEROPERASI DI BANDARA SO'A ANALISIS PERBANDINGAN KEPUASAN PENUMPANG PADA MASKAPAI PENERBANGAN YANG BEROPERASI DI BANDARA SO'A 15
Nikolaus Meo Dhaka, Riani Nurdin, Eko Poerwanto

PENGARUH KOMPOSISI SKIN TERHADAP KEKUATAN BENDING PADA KOMPOSIT SANDWICH SERAT AREN-POLYESTER DENGAN SERBUK KAYU SENGON-POLYESTER 25
Fajar Nugroho, Nurfi Ahmadi

BUCKLING ANALYSIS OF ISOTROPIC PLATES (AL 2024-T3) AND QUASI-ISOTROPIC PLATES (CARBON/EPOXY T300/5208) 34
Dwi Hartini, Hendrix Noviyanto F., Muh. Nadlah Arifqi M, M.Ridlo E.Nasution

SISTEM PAKAR DIAGNOSA HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN JAMUR TIRAM PUTIH MENGGUNAKAN METODE CERTAINTY FACTOR DENGAN PENELUSURAN FORWARD CHAINING 41
Via Febri Wulandari, Ahmad Riyadi, Tri Hastono

ANALISIS PERFORMA *RUNWAY* PADA BANDAR UDARA TANJUNG API AMPANA DENGAN METODE ACN-PCN 54
Sarah Safira Khalid Himran, Sri Mulyani, Fajar Khanif R

REKOMENDASI PERAWATAN KOMPONEN AIR CYCLE MACHINE (ACM) PADA pesawAT B737-900ER 61
Berni Anisafitri, Fajar Khanif Rahmawati, Sri Mulyani

IdenTIFIKASI kegagalan pada KOMPONEN PITOT PROBE BOEING 737-900ER 72
Cristhina, Sri Mulyani, Istyawan Priyahapsara

ANALISIS KESIAPAN PKP-PK BANDAR UDARA INTERNASIONAL BANYUWANGI DALAM MENDUKUNG PENANGGULANGAN KEADAAN DARURAT 79
Muhammad Nur Hilmy, Gunawan, Bangga Dirgantara Adiputra

PENGARUH POSISI *SHIELDED METAL ARC WELDING* (SMAW) GERAK SPIRAL KAMPUH V TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA KARBON RENDAH

Nurfi Ahmadi[1] Fajar Nugroho [2], Dadang Ahmad A.[3]
[1,2,3]Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto
ahmadinurfi@gmail.com

Abstract

The purpose of this study was to determine the relationship between the position of shielded metal arc welding (SMAW) with spiral motion V on the tensile strength and microstructure of low carbon steel. The research was conducted by welding V-coated low carbon steel with horizontal 2G, vertical 3G and overhead 4G. The test results show that the welding position does not have a significant effect on the tensile strength of low carbon steel welds, where the 3G vertical position provides a higher tensile strength value than the 2G horizontal position and 4G overhead. The microstructure of acicular ferrite (AF) in the vertical position looks dominant uniformly and tightly.

Keywords: *SMAW, welding position, tensile strength*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan ketrampilan yang tinggi bagi pengelasnya agar diperoleh sambungan dengan kualitas yang baik. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstkruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya.

Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan proses penyambungan logam dengan cara mencairkan logam induk menggunakan energi panas. Panas yang diakibatkan pada proses pengelasan bisa mencapai suhu 1500°C. Hasil dari pemanasan tersebut menyebabkan setiap titik didaerah hasil pengelasan akan mengalami pemanasan yang berbeda. Fenomena tersebut akan menyebabkan struktur mikro di masing-masing daerah memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung pada laju pendinginan yang dialaminya [1].

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan, prosedur pengelasan meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, persiapan pengelasan (meliputi; pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh) [2]. Kualitas hasil pengelasan juga ditentukan oleh beberapa faktor antara lain: Teknik Pengelasan, bahan logam yang disambung, pengaruh panas serta jenis kampuh yang tepat [3]. Panas dari proses pengelasan mengakibatkan logam di sekitar daerah lasan akan mengalami

siklus *thermal* cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan *thermal* [4]. Gerakan Elektroda sewaktu mengelas logam dilakukan untuk menghasilkan rigi-rigi las yang baik dan memperdalam penembusan busur nyala. Ada banyak cara dalam menggerakan atau mengayunkan elektroda. Tujuan dari gerakan elektroda las ini adalah untuk mendapatkan deposit logam las dengan permukaan yang rata dan halus dan menghindari terjadinya takikan dan pencampuran terak. Dalam hal ini yang penting adalah menjaga agar sudut elektroda dan kecepatan gerakan elektroda tidak berubah [2]. Dalam penelitian ini dipilih gerakan spiral

Perubahan mikro struktur akibat proses pengelasan akan mengakibatkan perubahan sifat-sifat mekanis yang dimiliki material. Sifat mekanis merupakan kemampuan suatu material untuk menahan beban yang dikenakan padanya, baik pembebanan statis maupun pembebanan dinamis. Pada pembebanan statis beban yang diterima suatu mateial arah maupun besarnya tetap setiap saat sedangkan pembebanan dinamis arah dan besarnya berubah setiap waktu. Sifat mekanis suatu material itu antara lain kekuatan (*strenght*), kekerasan, elastisitas, kekakuan, plastisitas dan kelelahan bahan.

Salah satu sifat mekanis yang paling penting dalam pengelasan adalah sifat mekanis dari suatu logam terhadap tarikan dari bahan yang akan di uji, dari tarik dapat diketahui beberapa sifat mekanik material yang sangat dibutuhkan dalam desain rekayasa yaitu kekuatan (tegangan), keuletan (elongasi) dan modulus elastisitas. Dari uraian diatas dapat dilihat begitu pentingnya penelitian tentang pengelasan terutama dalam mengamati kekuatan dan struktur mikro hasil lasan.

2. Metode Penelitian

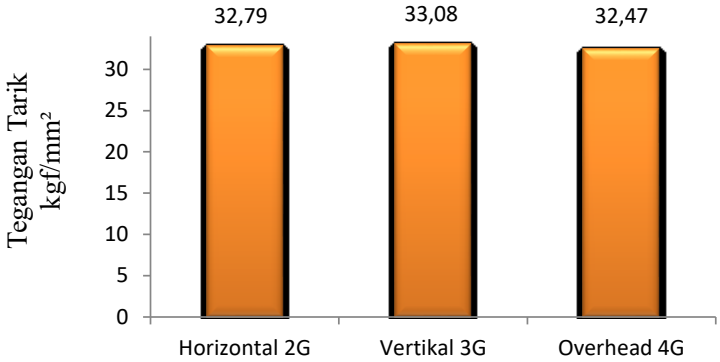
Proses pengelasan dilakukan setelah pembentukan material yaitu penyetelan arus pada mesin las sesuai variasi yang digunakan yaitu 45 A dan 95 A dengan kecepatan 8-10 cm/min, kemudian material diposisikan secara *horizontal* (2G) dengan alat penjepit agar posisi *horizontal* yang akan dilas tidak bergerak. Ketebalan pengelasan yaitu menggunakan 4 layer untuk kampuh V dengan gerak spiral. Pada posisi *vertical* (3G) diawali dengan pengelasan dari bawah pada *root* 2 mm menggunakan elektroda E7016, setelah itu pengelasan pada kampuh V dilakukan 4 *layer* dengan gerak spiral. Pada posisi *overhead* (4G) material diposisikan diatas kepala dengan menggunakan alat penjepit agar material yang akan dilas tidak bergerak, setelah itu pengelasan pada kampuh V dilakukan 4 *layer* dengan gerak spiral. Uji tarik hasil pengelasan SMAW dengan kampuh V gerak elektrode spiral dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik hasil lasan pada posisi 2G, 3G dan 4G dengan menggunakan alat uji tarik. Uji struktur mikro dari hasil lasan diperoleh dari foto permukaan spesimen yang diamplas dan di etsa terlebih dahulu, struktur mikro diperoleh dengan alat mikroskop optik menggunakan pembesaran 200X.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material baja karbon rendah sebagai material uji dalam penelitian ini. Rata-rata hasil pengujian tarik ditunjukkan pada gambar 1. kekuatan tarik untuk hasil lasan baja karbon rendah dengan variasi posisi pengelasan *horizontal* 2G mendapatkan nilai tegangan 32,79 kgf/mm², variasi posisi pengelasan *vertikal*

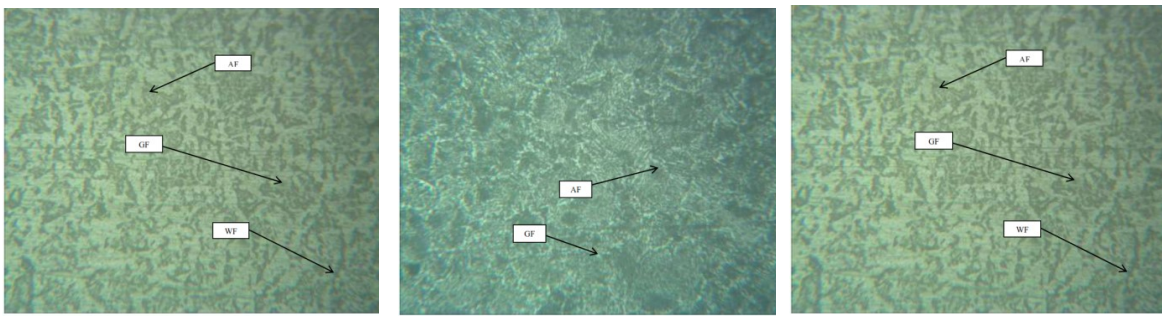
3G mendapatkan nilai tegangan 33,08 kgf/mm² dan variasi posisi pengelasan *overhead* 4G mendapatkan nilai tegangan 32,47 kgf/mm².



Gambar 1. Besar tegangan tarik hasil lasan dengan posisi electrode 2G,3G dan 4G

b. Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui struktur hasil lasan akibat perbedaan posisi pengelasan yang ditunjukkan pada gambar 2.



(a) (b) (c)

Gambar 2. Foto mikro hasil lasan dengan posisi elektroda (a) 2G (b) 3G (c) 4G

Struktur mikro dari logam hasil lasan posis 2G pada gambar 2 (a) memiliki struktur mikro *Widmanstatten Ferrite* (WF), *Grain Boundary Ferrite* (GF) dan *Acicular Ferrite* (AF). Struktur mikro GF terlihat hampir merata begitu pula struktur mikro AF terlihat diseluruh bagian. Struktur mikro WF terlihat hanya dibeberapa bagian.

Struktur mikro logam hasil lasan posisi 3G pada gambar 2 (b) memiliki struktur mikro *Widmanstatten Ferrite, Grain Boundary Ferrite* dan *Acicular Ferrite.* Struktur mikro AF terlihat diseluruh area. Struktur mikro AF mendominasi seluruh area dan seragam mengunci struktur mikro GF. Struktur mikro WF pada logam lasan ini hampir tak tercipta. Struktur mikro AF pada gambar ini lebih dominan dibanding dengan struktur mikro AF.

Struktur mikro logam las posisi 4G pada gambar 2 (c) yang memiliki struktur mikro *Widmanstatten Ferrite, Grain Boundary Ferrite* dan *Acicular Ferrite.* Struktur mikro AF terlihat diseluruh area. Pada gambar ini struktur mikro WF terlihat hanya sedikit dibagian kecil dari area tersebut. Jumlah struktur mikro AF terlihat berbutir lembut dan mendominasi area. Sedangkan untuk jumlah struktur mikro GF terlihat kecil dan sedikit dibanding GF yang ada pada gambar struktur mikro logam las posisi *horizontal* (2G)

Data dari hasil pengujian tarik dan struktur mikro posisi pengelasan *vertikal* 3G mempunyai nilai rata-rata sebesar 33,08 kgf/mm², nilai tersebut merupakan nilai tertinggi dari posisi pengelasan yang lain yaitu *horizontal* 2G dan *ovehead* 4G karena struktur mikro posisi *vertikal* 3G mempunyai struktur mikro AF yang lebih seragam sehingga mempunyai sifat ulet karena struktur ini sebagai *interlocking structure* yang mampu menghambat laju perambatan retak. Posisi pengelasan *vertikal* 3G dengan menggunakan gerakan elektroda *spiral* menimbulkan struktur mikro AF yang lebih merata dan seragam karena gerakan yang mengulang-ulang pada lintasan las sehingga menyebabkan arah lelehan dan penumpukan logam las menjadikan pendinginannya sedikit lebih lama dibandingkan dengan posisi *horizontal* dan *overhead*. Struktur mikro AF tercipta karena pendinginan yang lambat.

4. Kesimpulan

a. Kekuatan tarik hasil pengelasan baja karbon rendah tidak begitu dipengaruhi oleh posisi pengelasan 2G, 3G dan 4G, posisi *vertikal* 3G memberikan nilai kekuatan tarik sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan posisi *horizontal* 2G *dan overhead 4G.*
b. Struktur mikro dari hasil lasan baja karbon rendah terdiri dari *Widmanstatten ferrite* (WF), *Grain Boundary Ferrite* (GF) dan *Acicular ferrite* (AF). Pada posisi *vertikal* struktur mikro AF terlihat mendominasi area seragam dan rapat. Struktur mikro AF inilah yang diharapkan dari setiap proses pengelasan karena struktur ini sebagai *interlocking structure*.

5. Ucapan Terima Kasih

Diucapkan terimakasih kepada LP2M ITDA yang telah mendanai penelitian ini melalui skema dana penelitian internal, juga pada mahasiswa yang telah membantu dalam menyediakan data serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

[1] Sonawan, H., Suratman, R., (2004). "*Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*", Alfa Beta, Bandung.
[2] Wiryosumarto, H., (2000)."*Teknologi Pengelasan Logam*", Erlangga, Jakarta.
[3] Khan, M.I., (2007). "*Welding Science and Technology*", New Age, New Delhi.
[4] Alip, M., (1989). "*Teori dan Praktik Las*", Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK AERODINAMIKA PADA AIRFOIL NACA 4415 DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *GROUND EFFECT*

Rr Saskia Rianasari Hayuningtyas [1], Farhan Fathori Nugroho[2], Bahrul Jalaali[3,*]
[1,2,3]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Aerospace Technology,
Adisutjipto Institute of Aerospace Technology
bahrul@itda.ac.id

Abstract

Ground effect phenomenon is found when the lift-device such as wing, is placed near the ground. This phenomenon influences the aerodynamics characteristic whereby its appearance is important to be investigated. This work aims to study the influence of ground effect towards aerodynamics characteristion on the NACA4415 airfoil by varying the airfoil's angle of attack (AoA) as well as the height of ground proximity. Numerical approach conducted on Fluent was carried out while steady assumption, moving wall boundary, and Spalart-Allmaras turbulence model were utilized. The outcomes were aerodynamics characteristic represented by lift and drag coefficients. The results showed that maximum was 1.736 on AoA 15° while maximum was 0.0108 on AoA 18° respectively. It also found that ground proximity also was affecting the values of and . On the height of 0.05 chord, maximum characteristic of lift was obtained while maximum drag was on the 0.8 chord at AoA 18°. It caused by airflow underneath the airfoil was faster due to the ground effect revaling the nozzle-effect, therefore the pressure was higher as according to the Bernoulli's formulation. On the other hand, drag was related to the vortex generation in which AoA more influental than that of height. This work is hopefully beneficial as initial reference on the Wing-in-Ground (WIG) craft design, in particular on the airfoil selection.

Kata Kunci : *Ground effect, NACA4415, Angle of Attack, Aerodynamics, Computational Fluid Dynamics*

1. Pengantar

Indonesia memiliki lebih dari 17.000 pulau dimana faktor transportasi dan logistik yang efisien masih menjadi permalahan yang dikaji. Salah satu metode transportasi yang dipertimbangkan memiliki keunggulan dalam kondisi tersebut adalah *Wing-in-Ground* (WIG) *Craft*. WIG *Craft* merupakan salah satu jenis kapal bersayap yang mana pada bagian lambung samping kanan dan kirinya diberikan sayap dengan memanfaatkan ground effect yang bertujuan untuk dapat bergerak lepas dari permukaan air, selanjutnya terbang dan mendarat kembali di air dengan baik. *Ground effect* merupakan fenomena ketika perangkat penghasil gaya angkat (*lift*), seperti sayap, bergerak dengan sangat dekat terhadap permukaan [1]. Secara teori, saat WIG *Craft* terbang sangat dekat dengan permukaan, akan terjadi fenomena *wingtip vortices* serta *downwash* di bagian belakang sayap terhadap permukaan. Semakin rendah pesawat tersebut terbang, maka semakin sedikit *wingtip vortices* tersebut terbentuk sehingga menyebabkan *induced drag* menurun [2]. Oleh sebab itu gaya dorong (*thrust*) yang dibutuhkan pesawat tersebut menjadi lebih kecil dibandingkan dengan kondisi *out of ground effect* [2]. Besarnya

gaya-gaya yang bekerja pada pesawat tersebut dipengaruhi oleh bentuk airfoil, besarnya *angle of attack* (AoA), dan variasi ketinggian terhadap permukaan (*ground*). Salah satu cara untuk mengetahui besarnya karakteristik tersebut dapat menggunakan pendekatan numerik. Pada kajian ini akan dilakukan kajian mengenai pengaruh *ground effect* terhadap karakteristik aerodinamika pada *airfoil* NACA4415 dengan pendekatan numerik. Adapun karakteristik aerodinamika akan direpresentasikan dengan koefisien gaya angkat () dan hambat ().

Dalam pembahasan analisis pengaruh *ground effect* terhadap aerodinamika pada *airfoil* NACA 4415, dilakukan tinjauan pustaka. Laksono dalam kajiannya melakukan perancangan model pesawat *Wing In Ground Effect* dimana hasil dari penelitian tersebut membuktikan bahwa koefisien gaya angkat () pesawat pada keadaan *ground effect* nilainya lebih besar dibandingkan dalam kondisi *out-of-ground effect*. Sedangkan untuk nilai koefisien gaya hambatnya () berlaku sebaliknya, dimana nilai pada kondisi *ground effect* akan lebih kecil dibandingkan dalam keadaan *out-of-ground effect* [3]. Akbar melakukan penelitian dan eksperimen ini adalah untuk mengetahui pengaruh suatu sudut serang terhadap kinerja gaya angkat pada *airfoil* NACA 0012. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara dan sudut serang memiliki pengaruh terhadap gaya angkat dan gaya hambat pada airfoil. Semakin besar sudut serang (*angle of attack*) maka semakin besar juga gaya angkat serta gaya hambat pada airfoil tersebut. Namun, jika nilai sudut serang terlalu besar, airfoil akan kehilangan daya angkat (*stall*) [4]. Hasil yang serupa didapatkan oleh penelitian Kewas yang mengkaji *airfoil* NACA0015. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa gaya angkat terjadi peningkatan seiring bertambahnya kecepatan udara. Selain itu, gaya angkat juga akan mengalami peningkatan seiring terjadinya kenaikan sudut serang pada *airfoil* [5]. Senada dengan penelitian sebelumnya, Effendi mendapatkan bahwa semakin besar sudut serang maka besarnya koefisien hambat () dan koefisien angkat () akan mengalami peningkatan juga. Penelitian tersebut dilakukan pada *airfoil* NACA4412 dengan tinjauan eksperimen dan numerik [6]. Adapun penelitian Win menunjukkan bahwa rasio *lift/drag* akan menurun seiring dengan meningkatnya g*round clearence*. Sedangkan untuk sudut serang yang semakin tinggi, maka koefisien *lift* dan koefisien *drag* juga meningkat, sehingga menghasilkan penurunan rasio [7].

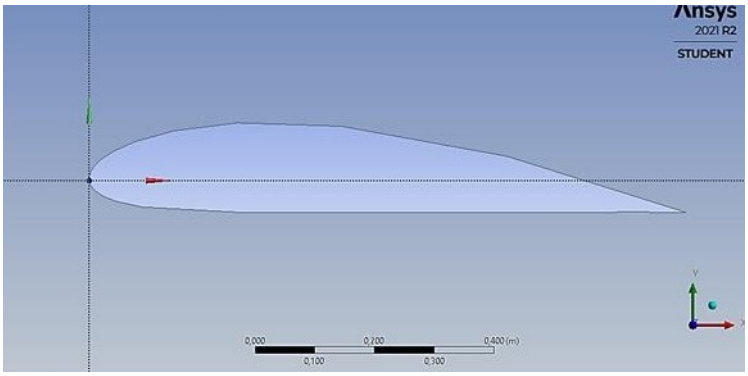
Berdasarkan kajian tersebut, didapati bahwa *ground effect* mempunyai pengaruh terhadap karakteristik aerodinamika pada *airfoil*. Adapun metode numerik juga menjadi salah satu solusi yang bisa diterapkan dalam mengkaji fenomena tersebut. Namun, penelitian komprehensif karakteristik aerodinamika pada NACA4415 dengan melibatkan *ground effect* belum banyak dikaji. Penelitian ini akan mengkaji karakteristik aerodinamika pada airfoil NACA4415 dimana pengaruh *ground* akan dilibatkan. Pendekatan metode turbulen Spalart-Allmaras (S-A) dengan kecepatan udara 28m/s akan diterapkan dimana kondisi simulasi pada perlakuan *steady*.

2. Metode Penelitian

a. Model Fisis

Penelitian ini akan mengkaji *airfoil* NACA4415 dengan panjang *chord line* (c) 1m. Fluida pada simulasi akan diasumsikan kondisi *incompressible* dengan kecepatan udara sebesar 28m/s. Kecepatan ini disesuaikan dengan kecepatan operasional WIG *craft* secara umum [8]. Adapun gambar repreentasi geometri *airfoil* dengan sudut serang 3° ditunjukkan pada Gambar 1. Variasi ketinggian *ground* yang akan dikaji adalah 0,05c; 0,1c; 0,2c; 0,4c; 0,8c; unbound

(∞). Sedangkan sudut serang akan divariasikan pada rentang 0°-18° dengan selisih 3°. Kondisi *unbound* didefinisikan dengan kondisi dimana pengaruh *ground* sudah tidak mempengaruhi karakteristik aerodinamika pada *airfoil*. Pada bagian depan *airfoil* akan diatur sebagai domain *inlet*, bagian bawah adalah *moving wall*, bagian atas dan belakang *airfoil* adalah *outlet*. Pemilihan *moving wall* mengacu pada referensi [9] dimana kondisi batas ini merepresentasikan hasil yang lebih aktual. *Moving wall* akan bergerak searah dan dengan kecepatan yang sema dengan *inlet* udara.

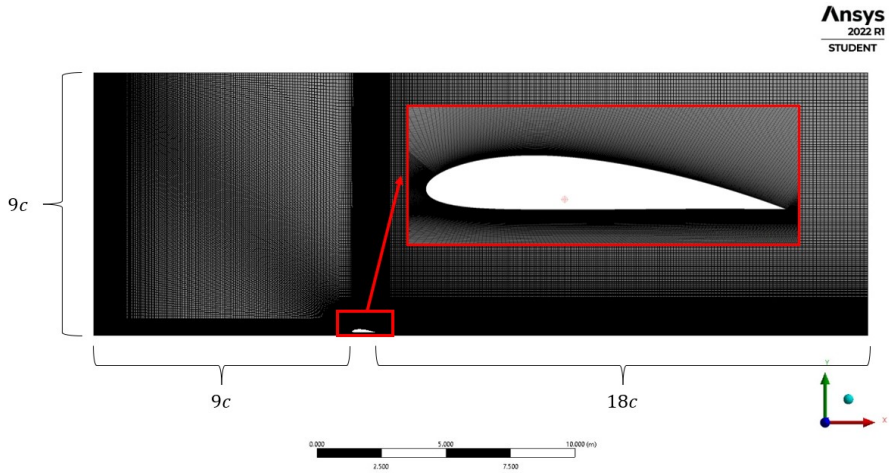


Gambar 1. Representasi geometri NACA4415 pada AoA 3°

b. Pengaturan Numerik dan Matematis

Pada studi numerik ini, domain komputasi berupa *rectangular* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Pada domain tersebut *inlet* akan didefinisikan sebagai *velocity inlet¸ bottom boundary* sebagai *moving wall*, *upper* dan *right boundaries* adalah *pressure outlet*. Sedangkan untuk *airfoil* sendiri akan diatur sebagai *static wall*. Untuk mendapatkan aliran turbulen yang berkembang penuh, jarak domain dan *airfoil* akan diatur sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 mengacu pada referensi [10]. *Meshing* pada penelitian ini akan dilakukan dengan *unstructured rectangular mesh* dimana pada bagian dekat dengan *airfoil* akan dirapatkan agar mendapatkan visualisasi lapis batas yang jelas [10]. Nilai optimal dari *mesh* akan dievaluasi dengan *grid independence test* yang akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya. Representatif *mesh* untuk ketinggian pada *airfoil* dengan AoA 0° ditunjukkan pada Gambar 2.

Mempertimbangkan kondisi udara *incompressible,* maka simulasi akan dilakukan dengan penyelesaian *pressure-based*. *Airfoil* akan dikelilingi oleh domain dimana udara akan ditangkap dalam domain tersebut dengan pengamatan Euler berbasis kontinum. Pada penelitian ini akan diasumsikan kondisi *steady,* tidak ada perpindahan panas, dan udara dalam domain sub-sonic. Pada *wall* akan diatur *no-slip condition* baik untuk *airfoil* maupun *moving wall*. Pada *inlet* akan diatur intensitas turbulen sebesar 5% dengan *medium intensity and Eddy viscosity ratio* yang merepresentasikan intensitas aliran turbulen yang terjadi pada *inlet* [11]. Adapun pada *outlet* diatur *pressure outlet* dengan *zero pressure and uniform velocity*. Solusi kalkulasi menggunakan metode *pressure-velocity coupling* dimana *coupled method on the second-order spatial discretization* diaplikasikan pada spasial Persamaan 2. Hal ini digunakan untuk meningkatakan akurasi perhitungan [11]. Bilangan Reynolds akan diatur sebesar 1,6 juta sehingga model turbulen Spalart-Allmaras akan digunakan karena memiliki keunggulan dalam memodelkan aliran turbulen pada kasus aerodinamika [12].



Gambar 2. Hasil representasi *meshing* dan domain komputasi untuk variasi dengan AoA 0°

Persamaan matematis yang digunakan pada penlitiain ini akan diwakili dengan 5 persamaan transport diamana terdapat 7 variabel yang belum diketahui. Pada tahapan kalkulasi akan dihitung parameter kecepatan, fungsi *wall*, gaya aerodinamika dan rezim aliran. Persamaan kontinuitas dan Navier-Stokes ditunjukkan pada Persamaan (1) dan (2). Adapun persamaan model turbulen S-A ditunjukkan pada Persamaan (3) dimana *production* and *desctruction* dari *turbulent viscosity near-wall region* didefinisikan pada Persamaan (5) dan (6). Nomenklatur persamaan dapat dilihat pada Tabel 2 sedangkan konstanta pada persamaan turbulent ditunjukkan pada Tabel 2.

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho\nabla.\vec{\boldsymbol{V}} = 0 \tag{1}$$

$$\rho\left(\frac{\partial \boldsymbol{V}}{\partial t} + \boldsymbol{V}.\nabla\mathbf{V}\right) = \nabla\boldsymbol{P} + \rho\boldsymbol{g} + \mu\nabla^2\boldsymbol{V} \tag{2}$$

$$\frac{D\tilde{\upsilon}}{Dt} = G_\upsilon - Y_\upsilon + \frac{1}{\tilde{\sigma_\upsilon}}[\nabla.\{(\upsilon + \tilde{\upsilon})\nabla\tilde{\upsilon}\} + C_{b2}(\nabla\tilde{\upsilon})^2] + S_{\tilde{\upsilon}} \tag{3}$$

$$G_\upsilon = C_{b1}\rho\left(S + \frac{\tilde{\upsilon}}{\kappa^2 d^3}\left(1 - \frac{\chi}{1+\chi f_{\upsilon 1}}\right)\right)\tilde{\upsilon}\,;\ \chi = \frac{\tilde{\upsilon}}{\upsilon} \tag{4}$$

$$Y_\upsilon = \left(\frac{C_{b1}}{\kappa^2} + \frac{(1+C_{b2})}{\tilde{\sigma_\upsilon}}\right)\rho g_t\left[\frac{1+{C_{w3}}^6}{{g_t}^6+{C_{w3}}^6}\right]^{\frac{1}{6}}\left(\frac{\tilde{\upsilon}}{d}\right)^2 \tag{5}$$

$$S = \sqrt{2(\frac{1}{2}(\frac{\partial \boldsymbol{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \boldsymbol{u}_j}{\partial x_i}))(\frac{1}{2}\left(\frac{\partial \boldsymbol{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \boldsymbol{u}_j}{\partial x_i}\right))} \tag{6}$$

$$g_t = \left(\zeta + C_{w2}(\zeta^6 - \zeta)\right) \tag{7}$$

$$\zeta = \tilde{\upsilon}/\left[\left(S + \frac{\tilde{\upsilon}}{\kappa^2 d^3}\left(1 - \frac{\chi}{1+\chi f_{\upsilon 1}}\right)\right)\kappa^2 d^2\right] \tag{8}$$

Tabel 1. Nomenklatur

Simbol	Nomenklatur	Satuan
ρ	*Density of fluid*	kg/m^3
P	*Pressure*	Pa
g	*Gravitational acceleration*	m/s^2
μ	*Dynamic viscosity*	kg/m-s
V	Velocity vector	m/s
υ	*Kinematic viscosity*	m^2/s

$\tilde{\upsilon}$	*Turbulent kinematic viscosity*	m^2/s
S	*Scalar measure of deformation tensor*	m
d	*Distance from the wall*	m
S_v	*Source term*	m^2/s
Y_v	*Destruction of turbulent viscosity*	m^2/s
G_T	*Production of turbulent viscosity*	m^2/s
S	*Magnitude of the vorticity*	m^2/s

Tabel 2. Konstanta Turbulen Model dari S-A [11,12]

Konstanta	**Nilai**
C_{b1}	0.1355
C_{b2}	0.622
$\widetilde{\sigma_v}$	0.667
C_{v1}	7.1
C_{w2}	0.3
C_{w3}	2.0
κ	0.4187

c. Validasi dan Grid Independence Test

Validasi merupakan proses yang dilakukan untuk memastikan pengaturan yang digunakan dapat menghasilkan hasil yang valid dan dapat diterima. Penelitian ini mengkaji 2 variasi total elemen dimana akan diamati jumlah elemen yang paling optimum. Validasi dilakukan dengan dengan membandingkan antara hasil nilai dan pada ketinggian () 0,1 dan sudut serang (AoA) 6° dengan eksperimen milik Shwe Yee Win dan Mongkol Thianwiboon (2021) dimana pada jurnal tersebut besarnya nilai = 1,263 dan nilai = 0,012 [7]. Hasil dari perbandingan antara data simulasi dengan data eksperimen tersebut ditunjukkan pada Tabel 3. Apabila nilai data terdapat selisih ≤ 20%, maka jumlah elemen tersebut dikatakan valid dan dapat diaplikasikan untuk variasi lainnya. Pada Tabel 3 menunjukkan besar selisih *error* antara data simulasi dengan data eksperimen yang mana variasi elemen 311.485 nilainya lebih kecil dibandingkan dengan variasi elemen 155.949. Besarnya nilai *error* pada variasi elemen 311.485 yaitu sebesar 8,23% untuk nilai dan 16,67% untuk nilai . Berdasarkan hasil validasi, besar selisih *error* pada variasi elemen 311.485 nilainya ≤ 20%, maka variasi elemen tersebut telah memenuhi kesesuaiannya dan keabsahannya, sehingga bisa diaplikasikan untuk variasi sudut serang dan variasi ketinggian lainnya.

Tabel 3. Hasil validasi

Variasi Total Elemen	**Simulasi**		**Eksperimen [13]**		***Error* (%)**	
	C_L	C_D	C_L	C_D	C_L	C_D
155949	1,121	0,016	1,263	0,012	11,24	33,33
311485	1,159	0,014			8,23	16,67

Grid independence test merupakan langkah yang dilakukan untuk mendapatkan hasil pemaksimalan jumlah serta struktur grid terbaik dan paling optimum agar hasil pemodelan dapat mendekati sebenarnya. Untuk mendapatkan hasil pemaksimalan jumlah serta struktur grid terbaik dapat dilakukan dengan melihat jumlah kenaikan (%) pada tiap variasi jumlah elemen. Hasil *grid independence test* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4. Berdasarkan dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa total elemen 311.485 tersebut menunjukkan hasil yang optimum. Hal tersebut dikarenakan variasi elemen 311.485 mengalami kenaikan pada nilai sebesar 3,32% dan nilai sebesar 11,87%. Kenaikan in dianggap tidak signifikan sehingga peningkatan nilai *grid* hanya akan menambah durasi komputasi sehingga perhitungan menjadi tidak efektif. Oleh sebab itu, dipilihlah *grid* dengan jumlah elemen 311.485 agar didapatkan hasil pemodelan yang mendekati sebenarnya, sehingga hasil simulasi yang diperoleh dapat diterima.

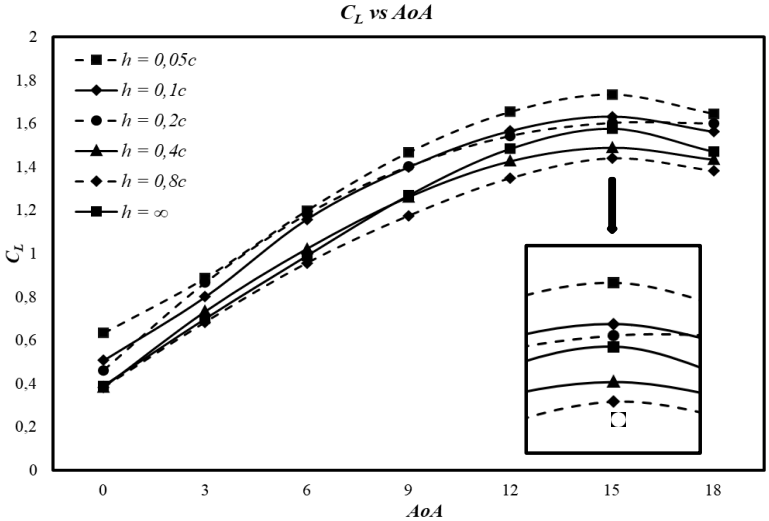
Tabel 4. Hasil *grid independece test*

Variasi Total Elemen	C_L	Kenaikan (%)	C_D	Kenaikan (%)
155949	1,121	-	0,016	-
311485	1,159	3,28	0,014	14,29

3. Hasil d an Pembahasan

a. Karakteristik Lift

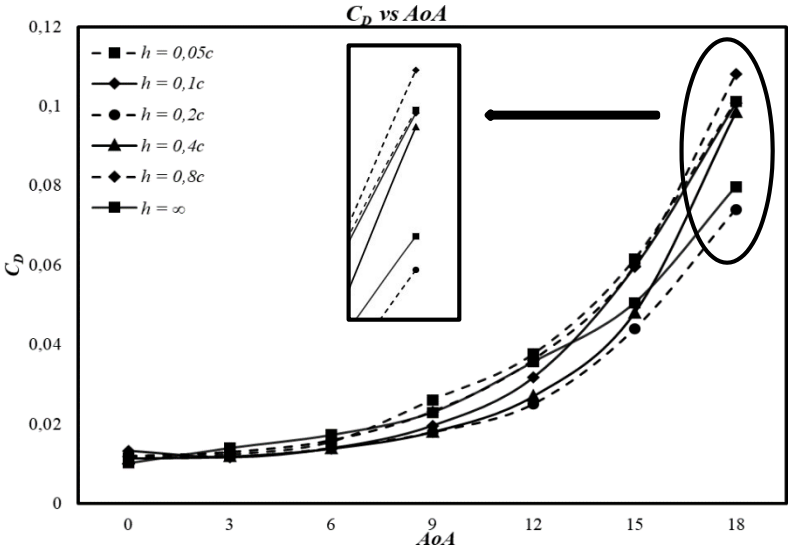
Hasil simulasi karakteristik koefisien *lift* ditunjukkan pada grafik di Gambar 3 dimana variasi AoA dan ketinggian akan dilibatkan. Didapatkan bahwa bahwa dengan adanya penurunan jarak antara *airfoil* dengan *ground* () akan berdampak pada meningkatnya nilai *lift coefficient* (). Dapat juga diamati bahwa pada airfoil NACA 4415 mengalami peningkatan nilai hingga mencapai sudut serang (AoA) 15° (= 1,736 pada ketingguan 0,05c), yang mana pada sudut serang tersebutlah airfoil NACA 4415 telah mencapai AoA maksimum untuk mampu beroperasi secara baik sebelum *stall*. Semakin besar AoA pada *airfoil* maka berdampak pada semakin besarnya nilai yang dihasilkan. Fenomena *stall* yang terjadi terdapat pada sudut serang 18°. *Stall* merupakan suatu keadaan dimana airfoil tidak dapat lagi menambah gaya angkat (*lift*) dan hanya akan menambah gaya hambat (*drag*) seiring dengan bertambahnya sudut serang [2].



Gambar 3. Grafik *vs AoA* dengan Variasi *h*

b. Karakteristik Drag

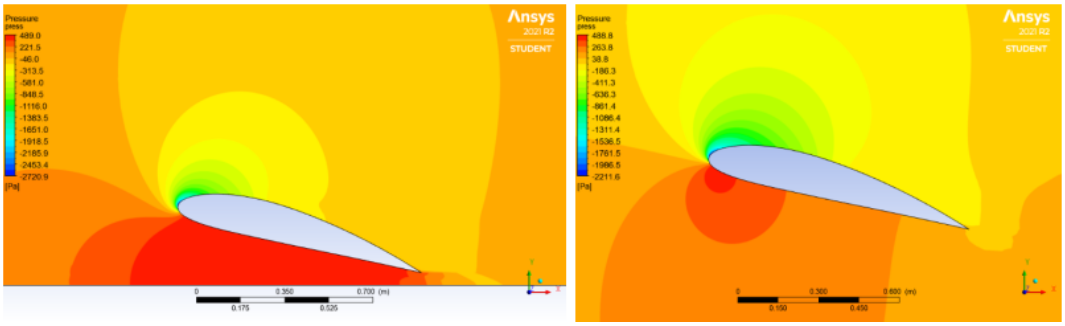
Dari grafik Gambar 4 didapatkan, untuk h = 0,05c; 0,1c; 0,2c; 0,4c; 0,8c; dan unbound dengan besar sudut serang (AoA) yang sama, diketahui bahwa dengan adanya penambahan jarak antara airfoil dengan *ground* (*h*) akan berdampak pada meningkatnya nilai drag coefficient (). Sebagai contoh, untuk sudut serang 18°, pada = 0,2c diperoleh nilai = 0,044; pada = 0,4c diperoleh nilai = 0,048, dan pada = 0,8c diperoleh nilai = 0,060. Hal tersebut merepresentasikan pengaruh sudut serang (AoA) terhadap airfoil. Dari hasil grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai terkecil diperoleh pada sudut serang (AoA) 0° dan nilai terbesar diperoleh pada sudut serang (AoA) 18°. Semakin bertambahnya sudut serang yang terbentuk pada airfoil, maka akan berdampak pada meningkatnya nilai drag coefficient (). Airfoil NACA 4415 mengalami peningkatan nilai drag coefficient () tertinggi pada sudut serang (AoA) 18o di ketinggian 0,8c (= 0,108). Pada sudut serang (AoA) 18° tersebutlah airfoil NACA 4415 telah mencapai suatu kondisi *stall angle*, dimana *airfoil* akan mengalami kehilangan gaya angkat (*lift*) dan bertambahnya gaya hambat (*drag*), sehingga terjadi penurunan gaya angkat (*lift*) secara perlahan



Gambar 4 Grafik C_D *vs AoA* dengan Variasi *h*

c. Studi Visualisasi

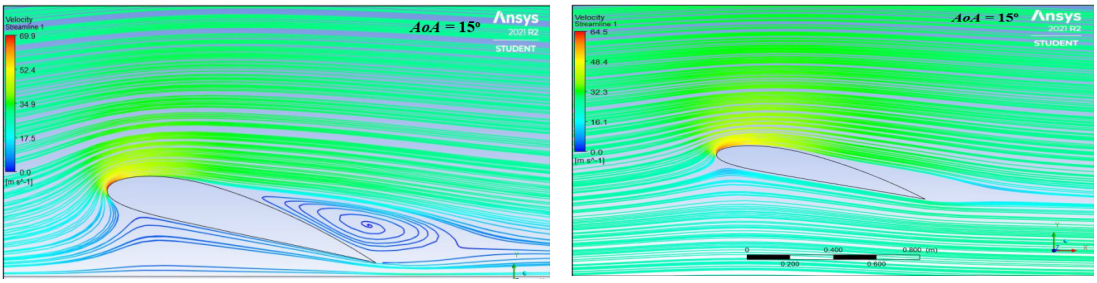
Gambar 5 menunjukkan kontur tekanan udara pada airfoil NACA 4415 untuk AoA = 15°, dengan h = 0,05c untuk gambar 5 (a), dan h = 0,8c untuk gambar 5 (b). Dari hasil simulasi tersebut dapat diamati bahwa di bagian atas permukaan *airfoil* menunjukkan warna hijau yang artinya tekanan udara di bagian tersebut memiliki tekanan yang cukup rendah apabila dibandingkan dengan tekanan udara di bagian bawah *airfoil*, dimana pada bagian bawah airfoil ditunjukkan dengan warna merah, yang berarti pada bagian tersebut memiliki nilai tekanan udara yang tinggi. Hal inilah yang dapat menyebabkan airfoil memiliki kemampuan daya angkat alami yang berupa dalam bentuk *lift coefficient* () yang tentunya karakteristik setiap airfoil berbeda-beda antara satu dengan lainnya. Kontur tekanan tersebut merepresentasikan pengaruh ketinggian pada airfoil terhadap ground. Semakin dekat jarak airfoil dengan ground (nilai h diperkecil) maka berdampak pada semakin besarnya daerah bertekanan tinggi pada celah antara lower surface airfoil dengan ground yang ditunjukkan dengan warna merah.



(a) (b)

Gambar 5. Kontur tekanan pada AoA = 15° dengan variasi ketinggian (a) = 0,05c dan (b) = 0,8c

Gambar 6 menunjukkan kontur kecepatan aliran udara pada airfoil NACA 4415 untuk AoA = 15°, dengan h = 0,05c untuk gambar 6 (a), dan h = 0,8c untuk gambar 6 (b). Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat bahwa aliran udara yang berada di atas permukaan *airfoil (upper surface)* berbeda dengan aliran udara yang berada di bagian bawah permukaan airfoil (*lower surface*). Aliran udara yang berada di bagian bawah airfoil tersebut mengalir dengan tekanan udara yang akan selalu naik dari bagian *leading edge* hingga menuju ke bagian *trailing edge*, sehingga adanya perbedaan tekanan pada *upper* dan lower surface airfoil. Semakin dekat jarak *airfoil* dengan *ground* (nilai h diperkecil) maka berdampak pada semakin besarnya daerah dengan kecepatan aliran udara yang rendah pada celah antara lower surface airfoil dengan ground yang ditunjukkan dengan warna biru. Sesuai dengan prinsip Bernoulli, semakin rendah kecepatan aliran udara di sekitar *airfoil*, maka semakin tinggi tekanan aliran udara yang dihasilkan.

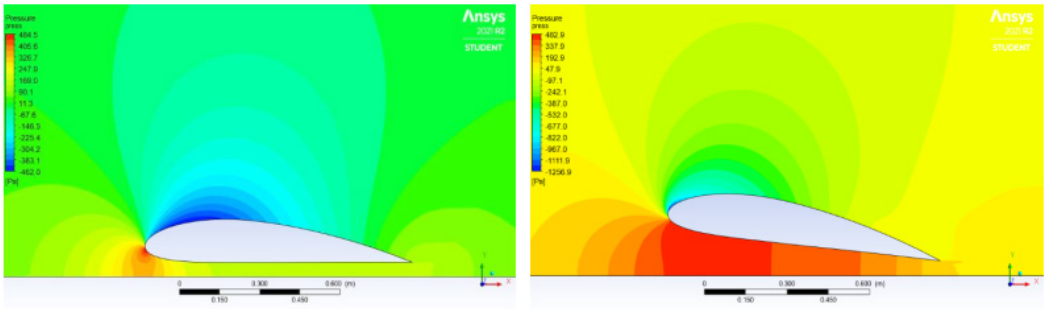


(a) (b)

Gambar 6. Kontur kecepatan udara dan *streamline* pada AoA 15° dengan variasi ketinggian (a) = 0,05c dan (b) = 0,8c

Gambar 7 menunjukkan kontur tekanan udara pada airfoil NACA 4415 untuk h = 0,05c, dengan AoA = 3° untuk gambar 7 (a), dan AoA = 9° untuk gambar 7 (b). Kontur tekanan tersebut merepresentasikan pengaruh sudut serang (AoA) pada *airfoil*. Ketika sudut serang bertambah, maka *stagnation point* akan bergeser menjauhi *leading edge* ke arah *lower surface airfoil*. Berdasarkan gambar 7 (a) terlihat bahwa *stagnation point* ditunjukkan pada bagian bawah permukaan *airfoil* di daerah dekat *leading edge*. Kemudian untuk gambar 7 (b) menunjukkan distribusi tekanan udara yang dihasilkan hampir di seluruh bagian bawah permukaan *airfoil*, namun tekanan udara yang tertinggi (*stagnation point*) pada *airfoil* tersebut terlihat hampir mencapai setengah panjang *airfoil (chord)*. Sedangkan distribusi tekanan udara yang ditunjukkan pada gambar 5 (a) terbentuk di seluruh bagian bawah permukaan *airfoil*, mulai dari area *leading edge* hingga *trailing edge*. Oleh sebab itulah pada kondisi sudut serang

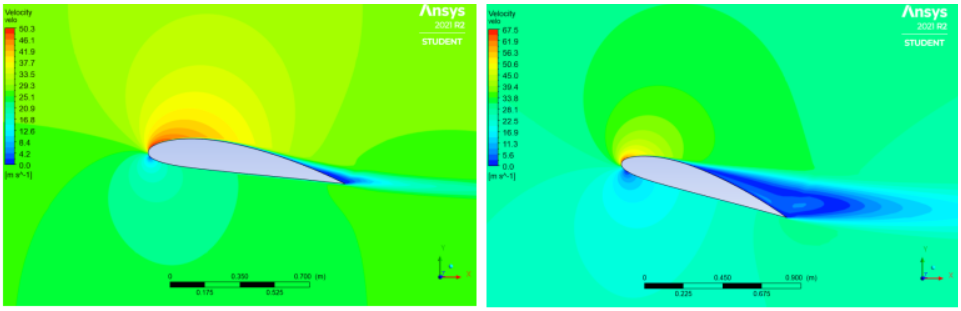
15o ini memiliki nilai *lift coefficient* yang paling tinggi. Semakin bertambahnya sudut serang pada *airfoil* akan berdampak pada meningkatnya nilai *lift coefficient*. Sebagai contoh, untuk ketinggian (h) 0,05c, pada AoA = 3° diperoleh nilai = 0,888; pada AoA = 9° diperoleh nilai = 1,469; dan pada AoA = 15° diperoleh nilai = 1,736.



(a) (b)

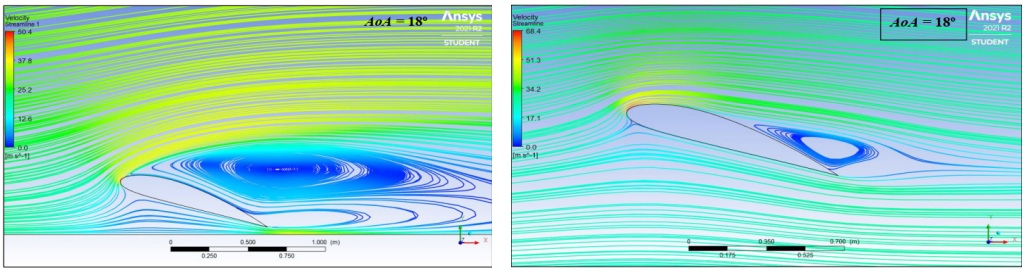
Gambar 7. Kontur tekanan pada = 0,05c dengan variasi sudut serang (a) 3° dan (b) 9°

Gambar 8 menunjukkan kontur kecepatan pada airfoil NACA 4415 untuk h = 0,8c, dengan AoA = 9° untuk gambar 8 (a), dan AoA = 18° untuk gambar 8 (b). Berdasarkan gambar ktersebut dapat dilihat bahwa permukaan *airfoil* bagian atas *leading edge* memiliki kecepatan udara yang sangat tinggi sehingga udara tidak akan mampu lagi untuk mengalir mengikuti bentuk dari airfoil NACA 4415. Kecepatan udara yang sangat tinggi pada bagian atas *leading edge* tersebut akan menyebabkan adanya separasi aliran udara yang ditunjukkan pada gambar 9, yang mana dapat mengakibatkan terjadinya turbulensi udara, sehingga besarnya nilai *drag coefficient* pada airfoil juga akan meningkat. Selain itu dengan adanya pengaruh *ground effect* dan penambahan sudut serang (AoA) akan mengakibatkan percepatan separasi aliran udara dan pembesaran area *wake* yang berada pada upper surface bagian trailing edge yang ditunjukkan dengan warna biru. Semakin besar area wake yang tercipta, maka semakin besar nilai koefisien *drag* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil simulai pada gambar 9, terlihat bahwa adanya separasi aliran udara pada bagian atas *airfoil* yang terjadi hampir lebih dari setengah panjang *airfoil (chord)*. Separasi udara yang ada pada bagian atas *airfoil* ini menunjukkan terjadinya fenomena turbulensi. Hal tersebut diakibatkan karena adanya kecepatan udara yang sangat tinggi pada bagian atas *leading edge airfoil*, sehingga udara di sekitar airfoil tidak dapat mengalir mengikuti bentuk dari permukaan airfoil, maka akibatnya akan menimbulkan gaya hambat (*drag*) yang cukup besar sehingga airfoil akan mengalami stall. Semakin besar turbulensi yang terjadi pada airfoil, maka semakin besar juga nilai *drag coefficient* yang dihasilkan.



(a) (b)

Gambar 8. Kontur kecepatan pada = 0,8c dengan variasi sudut serang (a) 9° dan (b) 18°



(a) (b)

Gambar 9. Kontur kecepatan udara dan *streamline* pada AoA 18° dengan variasi ketinggian (a) = 0,05c dan (b) = 0,8c

4. Kesimpulan

Besar AoA pada *airfoil* mempengaruhi nilai *lift coefficient* () dan *drag coefficient* (). Semakin besar AoA, maka semakin besar nilai dan . Pada penelitian ini, tertinggi dihasilkan pada AoA 15° yakni 1,736, sedangkan pada sudut serang 18° dihasilkan tertinggi dengan nilai 0,108. Ketinggian mempengaruhi karakteristik aerodinamika dan pada *airfoil*. Nilai tertinggi terdapat pada ketinggian 0,05c dengan AoA 15° yakni 1,736. Hal tersebut dikarenakan kecepatan aliran udara yang mengalir di permukaan atas *airfoil* lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran udara di permukaan bawah *airfoil* sehingga menghasilkan *lift* yang lebih besar pada permukaan bawah *airfoil*. Sedangkan nilai tertinggi terdapat pada ketinggian 0,8c dengan 0,108 di AoA 18°.

Daftar Pustaka

[1] Edi, P. (2020). The Application of WIG (Wing-In-Ground-Effect) As a More Cost Effective Transportation in the Indonesian Archipelago. Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta. Vol 6 (2020).

[2] Hayuningtyas, RR. S. R (2022). Analisis pengaruh ground effect terhadap karakteristik aerodinamika pada airfoil NACA4415. SKripsi. ITDA

[3] Laksono, B. A. (2012). Rancang Bangun Wing In Ground Effect Aircraft: Simulasi Numerik Menggunakan CFD Numeca.

[4] Akbar, A. (2020). Effect of Angle of Attack on Airfoil NACA 0012 Performance. 35-39.

[5] Kewas, J. C. (2020). Analisis Gaya Angkat Akibat Perubahan Kecepatan Aliran Udara dan Sudut Serang pada Airfoil NACA 0015 dalam Wind Tunnel Sub Sonic. Jurnal Frontiers Volume 3 Nomor 1, 71-79.

[6] Effendy, M. (2019, Juli). Studi Eksperimental dan Simulasi Numerik Karakteristik Aerodinamika Airfoil NACA 4412. Rotasi, 147-154.

[7] Win, S. Y., & Thianwiboon, M. (2021). Parametric Optimization of NACA 4412 Airfoil in Ground Effect Using Full Fatorial Design of Experiment. Engineering Journal.

[8] Ship Technology. (2021). AirFish 8 WIG Craft. www.ship-technology.com

[9] T. J. Barber, E. Leonardi dan R. D. Archer. (1999). A Technical Note on the appropriate CFD boundary conditions for the prediction of ground effect aerodynamics. THE AERONAUTICAL JOURNAL Technical Note. Cambridge

[10] Tu, J., Yeoh, G., Liu, C. (2018). Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach. Elsevier

[11] ANSYS Fluent documentation, theory guide, 2016

ANALISIS PERBANDINGAN KEPUASAN PENUMPANG PADA MASKAPAI PENERBANGAN YANG BEROPERASI DI BANDARA SO'A ANALISIS PERBANDINGAN KEPUASAN PENUMPANG PADA MASKAPAI PENERBANGAN YANG BEROPERASI DI BANDARA SO'A

Nikolaus Meo Dhaka[1], Riani Nurdin[2], Eko Poerwanto[3]
[1,2,3]Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, ITD Adisutjipto, Yogyakarta
ekoevtas@gmail.com, medholius@gmail.com

Abstract

So'a Bajawa Airport is one of the domestic airports on the island of Flores, Ngada district, NTT. There are 3 commercial airlines operating at So'a airport and belonging to the low cost carrier (LCC) category, namely PT. Lion Air, PT. Citilink, and PT. TransNusa Aviation Mandiri. So'a Bajawa Airport is one of the domestic airports on the island of Flores, Ngada district, NTT. There are 3 commercial airlines operating at So'a airport and belonging to the low cost carrier (LCC) category, namely PT. Lion Air, PT. Citilink, and PT. TransNusa Aviation Mandiri. Optimal service quality and price perceptions are expected to be able to meet the expectations of passengers using the 3 airlines operating at So'a Airport, for this purpose in order to determine passenger satisfaction in quantitative research, the data used in this study are primary data obtained through distributing questionnaires to passenger users the three airlines operating at So'a airport. The data analysis technique applied in this study was multiple linear regression analysis using SPSS version 16.0 as a data processing tool. The results of the study show that Lion Air is more satisfying than Cititlink and TransNusa.

Keywords: *Service Quality, Price Perception, Customer Satisfaction, Multiple Regression Analysis*

1. Pendahuluan

Perkembangan transportasi udara pada era globalisasi mengakibatkan tingginya ke inginan masyarakat untuk memakai jasa maskapai penerbangan untuk bepergian ke tempat yang jauh. Persaingan tingkat harga antara alat transportasi darat dan udara yang tidak terlalu jauh mendorong konsumen untuk cenderung memilih angkutan udara dari pada angkutan darat. Persaingan harga ini juga di iringi persaingan dengan maskapai penerbangan yang ada di Indonesia.

Kepuasan pelanggan adalah sebuah bentuk perasaan seseorang yaitu kecewa dan senang yang timbul dengan cara membandingkan kinerja yang diharapkan terhadap ekspetasi yang diterimanya. I Kadek Wawan Suryawan dan Osa Omar Sharif mengadakan penelitian yang berjudul : "Pengaruh Kualitas Layanan Penerbangan Terhadap Kepuasan Penumpang Dan Loyalitas (Studi Kasus: Penerbangan Garuda Indonesia)", yang dimuat di Jurnal Wacana Ekonomi, Vol. 17; No. 03; Tahun 2018, Halaman 170-177. Pada penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kualitas layanan *pre-flight* dari Garuda Indonesia tergolong baik. Kualitas layanan *in-flight* dari Garuda Indonesia tergolong sangat baik dan kualitas layanan *post-flight* dari Garuda Indonesia tergolong baik. Kepuasan penumpang Garuda Indonesia dinilai

oleh konsumen tergolong sangat baik. Loyalitas penumpang Garuda Indonesia dinilai oleh konsumen tergolong sangat baik. Kualitas layanan *pre-flight*, *in-flight* dan *post-flight* Garuda Indonesia berpengaruh secara positif serta secara signifikan terhadap kepuasan penumpang Garuda Indonesia. Kepuasan penumpang Garuda Indonesia berpengaruh secara positif serta signifikan terhadap loyalitas penumpang Garuda Indonesia.

Septiyani Putri Astutik dan Maria Valeria Roellyanti dari Manajemen Transportasi Udara STTKD Yogyakarta, yang dimuat di Jurnal Manajemen Dirgantara Vol.14, No.2, ISSN 2252 – 7451 (Media Cetak) 2622-0946 (Media Online); Desember 2021. Penelitiannya berjudul "Analisis Pengaruh Kualitas Layanan Maskapai Garuda Indonesia Berdasarkan Service Quality Terhadap Kepuasan Penumpang Di Bandara Adi Soemaermo, Boyolali. Hasil kesimpulan penelitian ini adalah Maskapai Garuda Indonesia mengutamakan layanan yang prima bagi para penumpangnya, sehingga diharapkan dapat menciptakan kepuasan bagi para penumpangnya. Akan tetapi dari hasil penelitian yang pernah dilakukan masih ditemui adanya perbedaan hasil tentang pengaruh kualitas layanan terhadap kepuasan penumpang Maskapai Garuda Indonesia, oleh karena itu penelitian in bertujuan untuk mengetahui adakah pengaruh kualitas layanan yang terdiri dari 5 dimensi (bukti fisik, kehandalan, ketanggapan, jaminan dan emapti) terhadap kepuasan penumpang Maskapai Garuda Indonesia di Bandara Adi Soemarmo, Boyolali. Responden yang digunakan dalam penelitian ini merupakan penumpang yang pernah melakukan penerbangan dengan menggunakan Maskapai Garuda Indonesia. Adapun jumlah responden yang diambil adalah sebanyak 150 orang. Alat uji hipotesis yang digunakan adalah regresi linear berganda. Dari hasil pengujian diketahui bahwa ke enam hipotesis yang diajukan diterima. Hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi untuk masing-masing hipotesis adalah H1 0,003 < 0,05; H2 0,003 < 0,05; H3 0,031 < 0,05; H4 0,026 < 0,05; H5 0,024 < 0,05 dan H6 0,013 < 0,05. Hal ini mengartikan bahwa secara simultan dan parsial untuk kualitas layanan yang terdiri dari 5 dimensi kualitas layanan (bukti fisik, kehandalan, ketanggapan, jaminan, empati) berpengaruh terhadap kepuasan penumpang Maskapai Garuda Indonesia di Bandara Adi Soemarmo, Boyolali. Dari hasil penelitian ini juga diketahui bahwa kualitas layanan berpengaruh sebesar 86%, yang ditunjukkan dengan nilai R Square sebesar 0,86. Sedangkan sisanya 14% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak diteliti dalam penelitian ini.

Bandara Udara So'a Bajawa merupakan salah satu bandara udara domestik di pulau Flores kabupaten Ngada NTT dan merupakan satu satunya bandara udara yang ada di kabupaten Ngada. Bandar Udara So'a Bajawa adalah sebuah bandara udara kelas III C milik Kementrian Perhubungan Udara yang terletak di Desa Piga I, Kecamatan So'a, Kabupaten Ngada, Nussa tenggara timur. Hingga tahun 2022 jenis maskapai penerbangan di Soa Bajawa terdapat satu segmentasi jasa penerbangan yaitu maskapai penerbangan *low cost carrier* yang harganya jauh lebih murah dengan memberikan fasilitas minim sehingga semua golongan masyarakat dapat menggunakan jasa penerbangan ini.

Tabel 1. Daftar Maskapai Komersil Terjadwal Tahun 2022

No	Airline	Kepemilikan	Status
1	Lion Mentari Airlines	*Private*	*Low Cost Carrier*
2	Citilink Indonesia	*Private*	*Low Cost Carrier*
3	TransNusa Aviation Mandiri	*Private*	*Low Cost Carrier*

Sumber: Dokumen Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) Berdasarkan Tabel di atas, dapat dilihat bahwa dari 3 maskapai komersil yang beroperasi di Soa Bajawa (domestik) pada tahun 2022, hanya 3 (tiga) maskapai yang tergolong dalam kategori low cost carrier (LCC).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data kuesioner akan dibagikan secara acak kepada pelanggan yang pernah menggunakan maskapai *Lion Air*, *Citilink* Indonesia,TransNusa sebanyak 300 responden dan setiap maskapai memiliki 100 responden. Dalam kuesioner dengan pertanyaan mengenai pengaruh Kualitas pelayanan dan presepsi harga terhadap kepuasan pelanggan pengguna jasa penerbangan ketiga maskapai penerbangan. Penelitian ini menggunakan skala likert dengan metode scoring terdiri dari angka 1-5. Pemberian skor ini digunakan sistem skala lima.

Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Analisis

Pengujian validitas adalah uji yang bertujuan untuk menilai apakah seperangkat alat ukur sudah tepat mengukur apa yang seharusnya diukur. Untuk mengukur tingkat validitas dapat dilakukan dengan cara mengkorelasikan antara skor butir pertanyaan dengan total skor

konstruk atau variabel. Uji validitas dilakukan dengan bantuan komputer program SPSS yang bertujuan untuk mengetahui bahwa setiap butir pernyataan yang diajukan kepada responden telah dinyatakan valid atau tidak. Data dikatakan valid apabila hasil koefisien korelasi (r hitung) lebih besar dari nilai kritis r tabel. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan teknik korelasi, yaitu dengan membandingkan hasil koefisien korelasi (rxy) dengan nilai kritis r tabel N= 100 = 0,1965. Dari hasil uji validitas menggunakan SPSS diperoleh hasil pengujian validitas kuisioner PT.Lion Air dinyatakan valid semua. Pada pengujian alat ukur data kuisioner maskapai Lion Air diperoleh hasil data yang valid dan realibel, sehingga dapat dilanjutkan untuk analisis regresi berganda untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel bebas yaitu : kualitas pelayanan (X1) dan presepsi harga (X2), terhadap kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai Lion Air di bandara So'a (Y).

a. Model Regresi Linear Berganda

Model regresi linear berganda untuk kualitas pelayanan (X1) dan presepsi harga (X2), dan kepuasan pengguna (Y) mempunyai formula sebagai berikut:

$$Y = a + b1X1 + b2X2 + e$$

Berikut adalah hasil output SPSS 16.0 untuk model regresi :

Tabel 2. Ouput Coefficients PT.Lion Air

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.946	1.398		1.392	.167
	Kualitas_Pelayanan_PT._Lion_Air	.092	.029	.259	3.226	.002
	Presepsi_Harga_PT._Lion_Air	.607	.082	.595	7.393	.000

a. Dependent Variable: Kepuasan_Pelanggan_PT._Lion_Air

Dari Tabel di atas, hasil output Coefficients dapat diperoleh Model regresi linear berganda untuk kualitas pelayanan (X1) dan presepsi harga (X2), dan kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai Lion Air (Y) mempunyai formula sebagai berikut:

$$Y = 1,946 + 0,092X1 + 0,607X2$$

Tabel 3. Ouput ANOVA PT. Lion Air

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1756.025	2	878.012	76.204	.000[a]
	Residual	1117.615	97	11.522		
	Total	2873.640	99			

a. Predictors: (Constant), Presepsi_Harga_PT._Lion_Air, Kualitas_Pelayanan_PT._Lion_Air

b. Dependent Variable: Kepuasan_Pelanggan_PT._Lion_Air

Pada tabel di atas dapat dilihat nilai Signifikansi sebesar 0,000. Sehingga diketahui bahwa probabilitas signifikansi (0,00) < 0.05, sehingga Ho ditolak dan Ha diterima. Artinya faktor Kualitas Pelayanan dan Presepsi harga secara simultan atau bersama-sama mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kepuasan pengguna jasa penerbangan Lion Air di Bandara So'a.

Tabel 4. Ouput Model Sumarry PT. Lion Air

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.782[a]	.611	.603	3.394

a. Predictors: (Constant), Presepsi_Harga_PT._Lion_Air, Kualitas_Pelayanan_PT._Lion_Air

Pada tabel di atas besarnya angka koefisien determinasi (R Square) adalah 0,611atau sama dengan 61,1 %. Angka tersebut mengandung arti bahwa variabel kualitas pelayanan (X1) dan variabel Presepsi harga (X2) secara simultan berpengaruh terhadap variabel kepuasan pelanggan pengguna jasa maskapai Lion Air (Y) sebesar 61,1,%. Sedangkan sisanya (100% - 61,1% = 38,9 %) dipengaruhi oleh variabel lain di luar persamaan regresi ini atau variabel yang tidak diteliti.

Dari hasil pengujian validitas kuisioner PT.Citilink Indonesia dinyatakan valid semua. Pada tabel pengujian alat ukur data kuisioner maskapai Citilink diperoleh hasil data yang valid dan realibel, sehingga dapat dilanjutkan untuk analisis regresi berganda untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel bebas yaitu : kualitas pelayanan (X1) dan presepsi harga (X2), terhadap kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai Citilink Indonesia di bandara So'a (Y).

Tabel 5. Ouput Coefficients PT. Citilink

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5.475	1.781		3.074	.003
	Kualitas_Pelayanan_PT. Citilink	.234	.026	.679	8.939	.000
	Presepsi_Harga_PT. Citilink	-.010	.101	-.007	-.098	.922

a. Dependent Variable: Kepuasan_Pelanggan_PT.Citilink

Dari tabel di atas, hasil output Coefficients dapat diperoleh Model regresi linear berganda untuk kualitas pelayanan (X1) dan presepsi harga (X2), dan kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai Citilink (Y) mempunyai formula sebagai berikut:

$$Y = 5,475 + 0,234X1 + (-0,010)X2$$

Tabel 6. Ouput ANOVA PT. Citilink

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1128.114	2	564.057	41.188	.000[a]
	Residual	1328.396	97	13.695		
	Total	2456.510	99			

a. Predictors: (Constant), Presepsi_Harga_PT.Citilink, Kualitas_Pelayanan_PT.Citilink

b. Dependent Variable: Kepuasan_Pelanggan_PT.Citilink

Pada table di atas dapat dilihat nilai Signifikansi sebesar 0,000. Sehingga diketahui bahwa probabilitas signifikansi (0,00) < 0.05, sehingga Ho ditolak dan Ha diterima. Artinya faktor Kualitas Pelayanan dan Presepsi harga secara simultan atau bersama-sama mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kepuasan pengguna jasa penerbangan Citilink di Bandara So'a.

Tabel 7. Ouput Model Sumarry PT. Citilink

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.678[a]	.459	.448	3.701

a. Predictors: (Constant), Presepsi_Harga_PT.Citilink, Kualitas_Pelayanan_PT. Citilink

Pada tabel diatas besarnya angka koefisien determinasi (R Square) adalah 0,459 atau sama dengan 45,9 %. Angka tersebut mengandung arti bahwa variabel kualitas pelayanan (X1) dan variabel Presepsi harga (X2) secara simultan berpengaruh terhadap variabel kepuasan pelanggan pengguna jasa maskapai Citilink (Y) sebesar 45,9%. Sedangkan sisanya (100% - 45,9% = 54,1%) dipengaruhi oleh variabel lain di luar persamaan regresi ini atau variabel yang tidak diteliti.

Dari hasil pengujian validitas kuisioner PT.TransNusa dinyatakan valid semua. Pada tabel pengujian alat ukur data kuisioner maskapai TransNusa diperoleh hasil data yang valid dan realibel, sehingga dapat dilanjutkan untuk analisis regresi berganda untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel bebas yaitu : kualitas pelayanan (X1) dan presepsi harga (X2), terhadap kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai TransNusa di bandara So'a (Y).

Tabel 8. Ouput Coefficients PT. TransNusa

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5.452	1.527		3.570	.001
	Kualitas_Pelayanan_PT. TransNusa	.001	.035	.001	.016	.987
	Presepsi_Harga_PT. TransNusa	.693	.059	.768	11.700	.000

a. Dependent Variable: Kepuasan_Pelanggan_PT.Trans

Dari tabel di atas, hasil output Coefficients dapat diperoleh Model regresi linear berganda untuk kualitas pelayanan (X1) dan presepsi harga (X2), dan kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai TransNusa (Y) mempunyai formula sebagai berikut:

Y = 5,452 + 0,001X1 + 0,693X2

Tabel 9 Ouput ANOVA PT. TransNusa

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1348.527	2	674.264	69.961	.000[a]
	Residual	934.863	97	9.638		
	Total	2283.390	99			

a. Predictors: (Constant), Presepsi_Harga_PT.TransNusa, Kualitas_Pelayanan_PT. TransNusa

b. Dependent Variable: Kepuasan_Pelanggan_PT.Trans

Tabel 10 Ouput Model Sumarry PT. TransNusa

Model Summary

Mode l	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.768[a]	.591	.582	3.104

a. Predictors: (Constant), Presepsi_Harga_PT.TransNusa, Kualitas_Pelayanan_PT.TransNusa

Pada tabel di atas besarnya angka koefisien determinasi (R Square) adalah 0,591 atau sama dengan 51,9 %. Angka tersebut mengandung arti bahwa variabel kualitas pelayanan (X1) dan variabel Presepsi harga (X2) secara simultan berpengaruh terhadap variabel kepuasan pelanggan pengguna jasa maskapai TransNusa (Y) sebesar 51,9%. Sedangkan sisanya (100% - 51,9% = 48,1%) dipengaruhi oleh variabel lain di luar persamaan regresi ini atau variabel yang tidak diteliti.

Persamaan harus ditempatkan di tengah garis dan diberi nomor persamaan secara berurutan dalam tanda kurung di sebelah kanan margin, seperti pada (1). Penggunaan Microsoft Equation Editor atau MathType lebih disukai.

$$E_v - E = \frac{h}{2.m}\left(k_x^2 + k_y^2 \right) \tag{1}$$

b. Uji Reliabilitas

Suatu kuisioner dikatakan reliable atau handal jika jawaban seseorang terhadap pertanyaan adalah konsisten atau stabil dari waktu ke waktu. Pengukuran reliabilitas dilakukan dengan cara *one shot* atau pengukuran sekali saja dengan alat bantu SPSS uji statistic *Cronbach Alpha* (α). Suatu konstruk atau variabel dikatakan reliable jika memberikan nilai *Cronbach Alpha* > 0,60. Berikut adalah hasil hasil uji reliabilitas menggunakan SPSS diperoleh hasil sebagai berikut (Hasil lengkap Uji reliabilitas terdapat di Lampiran 3)

Tabel 11. Uji reliabilitas Kuisioner

Uji reliabilitas Kuisioner PT. Lion Air

Variabel	Cronbach Alpha	Nilai Kritis	Kesimpulan
X1	0,973	0,60	Reliabel
X2	0,905	0,60	Reliabel
Y	0,967	0,60	Reliabel
Uji reliabilitas Kuisioner PT. Citilink Indonesia			
X1	0,972	0,60	Reliabel
X2	0,798	0,60	Reliabel
Y	0,907	0,60	Reliabel
Uji reliabilitas Kuisioner PT. TransNusa Aviation Mandiri			
X1	0,923	0,60	Reliabel
X2	0,941	0,60	Reliabel
Y	0,892	0,60	Reliabel

4. Regresi Linear Berganda (PT. TransNusa Aviation Mandiri)

Dari hasil output Coefficients dapat diperoleh Model regresi linear berganda untuk kualitas pelayanan (X1) dan presepsi harga (X2), dan kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai TransNusa (Y) mempunyai formula sebagai berikut:

$$Y = 5,452 + 0,001X1 + 0,693X2$$

1) Konstanta (a)

   Nilai konstanta sebesar 5,452 yang berarti bahwa jika tidak ada variabel bebas yang terdiri dari variabel kualitas pelayanan (X1) dan presepsi harga (X2) yang mempengaruhi Kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai TransNusa (Y) maka Kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai TransNusa akan mempunyai nilai sebesar 5,452.

2) Koefisien Regresi Variabel kualitas pelayanan (b1)

   Variabel kualitas pelayanan (X1) mempunyai pengaruh yang positif terhadap Kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai TransNusa, dengan koefisien regresi sebesar 0,001 yang artinya apabila Variabel kualitas pelayanan meningkat sebesar 1 satuan, maka Kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai TransNusa akan meningkat sebesar 0,001 satuan dengan asumsi bahwa pada variabel presepsi harga (X2) dalam kondisi konstan.

3) Koefisien Regresi Variabel presepsi harga (b2)

   Variabel presepsi harga (X2) mempunyai pengaruh yang positif terhadap Kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai TransNusa, dengan koefisien regresi sebesar 0,693 yang artinya apabila Variabel presepsi harga meningkat sebesar 1 satuan, maka Kepuasan pengguna jasa penerbangan maskapai TransNusa akan meningkat sebesar 0,693 satuan dengan asumsi bahwa pada variabel kualitas pelayanan (X1) dalam kondisi konstan.

5. Kesimpulan

Berikan pernyataan bahwa apa yang diharapkan, sebagaimana dinyatakan pada bab "Pendahuluan" pada akhirnya dapat menghasilkan bab "Hasil dan Pembahasan", sehingga ada kesesuaian. Selain itu juga dapat ditambahkan prospek pengembangan hasil penelitian dan penerapan prospek studi lanjutan ke selanjutnya (berdasarkan hasil dan pembahasan).

a. Faktor Kualitas Pelayanan dan Presepsi harga secara simultan atau bersama- sama mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kepuasan pengguna jasa penerbangan Lion Air di Bandara So'a. Kualitas pelayanan maskapai Lion Air di bandara So'a mempengaruhi kepuasan pengguna jasa Maskapai Lion Air di Bandara So'a dan presepsi harga maskapai Lion Air di bandara So'a mempengaruhi kepuasan pengguna jasa Maskapai Lion Air di Bandara So'a.
b. Faktor Kualitas Pelayanan dan Presepsi harga secara simultan atau bersama- sama mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kepuasan pengguna jasa penerbangan Citilink di Bandara So'a. Kualitas pelayanan maskapai Citilink di bandara So'a mempengaruhi kepuasan pengguna jasa Maskapai Citilink di Bandara So'a dan presepsi harga maskapai Citilink di bandara So'a tidak mempengaruhi kepuasan pengguna jasa Maskapai Citilink di Bandara So'a.
c. Faktor Kualitas Pelayanan dan Presepsi secara simultan atau bersama-sama mempengaruhi kepuasan pengguna jasa Maskapai TransNusa di Bandara So'a. Kualitas pelayanan maskapai TransNusa di bandara So'a tidak mempengaruhi kepuasan pengguna jasa Maskapai TransNusa di Bandara So'a dan presepsi harga maskapai TransNusa di bandara So'a mempengaruhi kepuasan pengguna jasa Maskapai TransNusa di Bandara So'a.

Dari hasil analisis perbandingan ketiga maskapai yang beroperasi di bandara So'a dari segi kualitas pelayanan menurut penumpang, Lion Air lebih memuaskan dibandingkan dengan Cititlink dan TransNusa.

UCAPAN TERIMA KASIH OPSIONAL

Kami mengucapkan terimakasih kepada Manajemen Bandara So'a yang telah memberikan kesempatan untuk dijadikan tempat penelitian. Kami juga mengucapkan terimakasih kepada pimpinan Lion Air, Citilink, dan TransNusa (area Bandara So'a) yang telah memberikan kesempatan menjadi obyek penelitian. Kami juga memberikan ucapan terimakasih kepada seluruh penumpang ketiga maskapai penerbangan yang telah mengisi kuisioner penelitian kami, semoga hasil penelitian ini dapat digunakan referensi guna meningkatkan ketiga maskapai penerbangan yang ada di Bandara So'a. Kami juga berharap semua yang peduli dengan kenyamanan penerbangan dapat memberikan masukan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

[1] I Kadek Wawan Suryawan dan Osa Omar Sharif, "Pengaruh Kualitas Layanan Penerbangan Terhadap Kepuasan Penumpang Dan Loyalitas (Studi Kasus: Penerbangan Garuda Indonesia)", yang dimuat di Jurnal Wacana Ekonomi, Vol. 17; No. 03; Halaman 170-177, ISSN : 1412-5897, Tahun 2018.

[2] Septiyani Putri Astutik dan Maria Valeria Roellyanti dari Manajemen Transportasi Udara STTKD Yogyakarta, yang dimuat di Jurnal Manajemen Dirgantara Vol.14, No.2, ISSN 2252 – 7451 (Media Cetak) 2622-0946 (Media Online); Desember 2021.

[3] N. Lestari, S. D. Kurniawan, and B. Yudhanto, "Tube Bending Machine for Home Industry Scale," Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta, vol. 4, Nov. 2018.

[4] Dhasya, H., & Fatmayati, F. (2022). Pengaruh Persepsi Harga dan Kualitas Pelayanan Terhadap Keputusan Penumpang Pengguna Maskapai Citilink di Bandar Udara Internasional Ahmad Yani Semarang. *Jurnal Multidisiplin Madani (MUDIMA)*, 1533-1546.

[5] Fakhrudin, A. (2020, Desember). Pengaruh Kepuasan dan Kepercayaan terhadap Loyalitas Penumpang Maskapai Garuda Indonesia di Bandar Udara Adi Soemarmo. *Jurnal Maksipreneur : Manajemen, Koperasi, dan Entrepreneurship*, 102 – 113.

[6] Nathadewi, K. S., & Sukawati, T. G. (2019). Peran Kepuasan Dalam Memediasi Pengaruh Kualitas Pelayanan Terhadap Niat Beli Ulang Konsumen Lion Air. *E-Jurnal Manajemen*, 6658-6679.

[7] Prabowo , H., Darman , & Noegraheni, E., Analisis Kepercayaan Dalam C2c E-Commerce Terhadap Keputusan Pembelian Dan Dampaknya Terhadap Repurchase Pada Kaskus. *Binus Business Review* , 301-314. Tahun 2014.

[8] Namukasa, J., The Influence of Airline Service Quality On Passenger Satisfaction and Loyalty. The TQM journal, Vol.25 (5), 520-532. Didapatkan dari Emerald Publishing. 2013.

[9] Kotler, Philip, Marketing Management Analysis, Planning, Implementation and control, 9th edition. 2012

[10] *G. Keramidas, N. Voros, and M. Hübner, Eds., "Components and Services for IoT Platforms," 2017.*

[11] Tjiptono, Fandy dan Gregorius Chandra, Service Quality Satisfaction, Penerbit Andi, Yogyakarta.2015.

[12] Istianto, John, H, dan Tyra, M, J, 2011, Analisis Pengaruh Kualitas Layanan terhadap Kepuasan Pelanggan Rumah Makan Ketty Resto. Jurnal ekonomi dan Informasi Akuntansi (JENIUS), Vol. 1 (3): 275-290. 2011

[13] R. Qi, G. Tao, and B. Jiang, "Fuzzy System Identification and Adaptive Control," Communications and Control Engineering, 2019.

[14] Aritonang, Lerbin, Kepuasan Pelanggan, Gramedia, Jakarta, 2005.

[15] Arikunto, S, 2014, Metodologi Penelitian , Jakarta: PT Rineka Cipta, 2014.

PENGARUH KOMPOSISI SKIN TERHADAP KEKUATAN BENDING PADA KOMPOSIT SANDWICH SERAT AREN-POLYESTER DENGAN SERBUK KAYU SENGON-POLYESTER

Fajar Nugroho[1], Nurfi Ahmadi[2]
[1,2]Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto
[1]fajarnugroho@itda.ac.id

Abstract

Sandwich composite is a type of composite that has a high strength when used as a primary or secondary structure. Composites also have advantages from its mechanical properties, corrosion resistance, small density and a relative simple manufacturing process. This study aimed to investigate the effect of volume fraction variations at sugar palm tree fiber skin and 'sengon laut' wood saw waste core on the bend strength sandwich composite with polyester matrix. The materials of this study were sugar palm tree fiber, unsaturated polyester resin 157 BQTN-EX, 'sengon laut' wood saw waste and urea formaldehyde. This specimen was made by press printing method with 2 mm skin thickness and 10 mm core thickness. This sandwich composite bending test refers to ASTM standard D-790-03. The method used in the composite manufacturing process was hand lay-up method. The results of this study showed that bending strength increased from volume fraction 20%:80% variations to volume fraction of 40%:60% variations, with the highest maximum stress value of 54,87 N/mm2 was at 40%:60% variations. Based on this, it could be concluded that the addition of fiber affects the value of the bending strength. The result from morphology test shown that void was found at the specimen surface at 30%:70% variation which could happen because of the imperfection manufacture process.

Keywords*: composite, sandwich, bending*

1. Pendahuluan

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda. Karakteristik pembentuknya berbeda-beda, maka akan dihasilkan material baru yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya.

Dewasa ini pemanfaatan serat alam dalam rekayasa material komposit telah banyak dikembangkan. Serat alam jumlahnya cukup melimpah dan memiliki kekuatan yang spesifik yang baik, serta berat jenis rendah. Serat alam lebih ramah terhadap lingkungan dan merupakan sumber daya alam yang diolah kembali dan harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan serat sintetis.

Pengolahan tepung aren dalam proses produksinya akan menghasilkan limbah cair dan limbah padat berupa ampas serat aren dan kulit kayu aren. Pemanfaatan limbah padat biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar atau dimanfaatkan oleh industri budidaya jamur. Padahal ampas serat aren tersebut bisa dimanfaatkan untuk rekayasa material sebagai bahan alternatif penguat pada material komposit. Limbah ampas aren mengandung serat kasar sekitar

50% sehingga potensi serat ini memiliki prospek untuk dikembangkan sebagai penguat panel komposit, seperti serat alam yang lainnya. (kenaf, rami, rosella, abaca dll).

Begitu juga dengan pemanfaatan limbah gergaji kayu sengon juga banyak dikembangkan dan diaplikasikan dalam teknologi komposit. Massa jenis kayu sengon adalah 0,33 g/cm^3. Dengan massa jenis yang ringan, pemanfaatan serbuk gergaji kayu sengon lebih sesuai sebagai bahan *core* pada struktur panel *sandwich*. Setiap industri penggergajian dapat menghasilkan limbah serbuk gergaji kayu sengon sekitar 40-60 kg/hari. Limbah serbuk gergaji kayu sengon tersebut belum dimanfaakan secara optimal atau hanya dijadikan bahan bakar jika sudah mengering. Eksistensi limbah serbuk gergaji dengan menambahkan perekat yang murah mempunyai potensi yang tinggi untuk direkayasa menjadi produk *core* fleksibel untuk pembuatan panel komposit *sandwich.*

Bahan *urea formaldehyde* (UF) merupakan jenis salah satu resin yang dapat digunakan sebagai perekat dalam pembuatan *core* dari limbah serbuk gergaji kayu sengon karena harganya yang murah. Bahan UF ini cocok digunakan sebagai perekat produk *core* mengingat komponen *core* di dalam struktur panel komposit *sandwich* mengalami pembebanan tidak langsung.

Namun demikian perlu dipertimbangkan jenis resin yang digunakan sebagai pembuat komposit *skin* agar dihasilakan komposit yang memiliki kekuatan tinggi, fluiditas tinggi dan murah. Salah satu jenis resin yang dapat digunakan adalah *unsaturated polyester* yang harganya cukup terjangkau

Komposit *sandwich* dengan *skin* yang terdiri dari beberapa lapisan penyusun dapat memberikan keuntungan dan meningkatkan ketahanan komposit *sandwich* terhadap kegagalan delaminasi yang disebabkan oleh beban yang diterima (Xie dkk., 2009).

Bahan *core* SG-KSL-UF memiliki kekuatan tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 60%, kekuatan bending tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 60%, kekuatan impak tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 60%, kekuatan geser tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 70%, dan kekuatan buckling tertinggi pada kandungan serbuk gergaji 60%. Berdasarkan analisis diatas, maka dapat disimpulkan bahwa *core* serbuk gergaji kayu sengon laut urea formaldehide memiliki sifat mekanis tertinggi pada kandungan serbuk gergaji sebesar 60-70% (Diharjo., 2008).

Nurhidayat (2016) menyelidiki pengaruh ketebalan core dan jumlah siklus beban bending dinamis terhadap penurunan kekuatan. Komposit *sandwich* berpenguat serat aren acak bermatrik *polyester* dengan *core* serbuk gergaji kayu sengon laut. Komposit *sandwich* tersusun dari dua lamina komposit dengan *core* ditengahnya dan fraksi volume serat 30%. *Core* yang digunakan adalah serbuk gergaji kayu sengon laut dengan variasi ketebalan 5 mm, 10 mm, 15 mm dan 20 mm dan tebal lamina 2 mm serta perlakuan alkali (5% NaOH) selama 4 jam. Pengujian dilakukan dengan beban bending dinamis dan pada siklus tertentu dicatat kenaikan defleksinya. Hasil penelitian ini menunjukan bahwa harga bending tertinggi terjadi pada komposit sandwich dengan tebal *core* 5 mm. Penurunan kekuatan terjadi pada semua variasi tebal core seiring dengan peningkatan jumlah siklus beban bending dinamis. Kekakuan panel komposit *sandwich* berpenguat serat aren acak menurun seiring dengan bertambahnya jumlah siklus beban bending dinamis. Persentase penurunan kekakuan terbesar terjadi pada komposit sandwich pada tebal c*ore* 5 mm (19,04%), sedangkan yang terendah terjadi pada komposit *sandwich* dengan tebal core 20 mm yaitu sebesar (11,42%).

Catur (2014), meneliti tentang komposit sandwich berpenguat serat bambu fiberglass dengan *core polyurethane rigid foam*. Komposit Sandwich terdiri dari lapisan skin pada bagian luar dan sebuah inti atau core. Jumlah serat lapisan dan jenis *sandwich* komposit bervariasi dalam penelitian ini. Tidak ada perbedaan mencolok dalam nilai kekuatan tekan komposit *sandwich* dengan variasi jumlah lapisan penguat kulit. Kekuatan tekan pada area tepi menunjukan bahwa jumlah dan lapisan pada kulit akan menentukan kuat tekan. Lamina bambu memberikan kekuatan tekan yang lebih baik dari pada lamina fiberglass. Kepadatan komposit sandwich lebih rendah dari pada kepadatan rata-rata kayu, berkisar antara 97,1 kg/m^3 hingga 392,1 kg/m^3. Uji lentur dilakukan dengan menggunakan tekukan empat titik untuk menentukan kekuatan lentur. Kekuatan lentur tertinggi dari komposit diperoleh pada 785N/cm^3. Nilai ini dihasilkan oleh varian komposit dengan kulit terdiri dari dua lapisan bambu anyaman dikombinasikan dengan 1 (satu) lapisan fiberglass.

Wulantika (2017), meneliti tentang kekuatan dan modulus bending bahan komposit lingkungan berpenguat serat ampas tebu dengan matrik asam polilaktat. Penelitian bahan komposit ramah lingkungan berpenguat serat ampas tebu dengan matrik asam polilaktat bertujuan untuk mengetahui kekuatan bending dan modulus bending bahan komposit, mengetahui pengaruh orientasi arah serat searah dan acak terhadap kekuatan bending dan modulus bending dari bahan komposit. Adapun orientasi arah serat yang digunakan adalah orientasi arah serat searah dan orientasi arah serat acak dengan komposisi serat ampas tebu sebesar 20%, 40% dan 60%. Bahan komposit hasil sintesis akan dilakukan tiga buah pengujian yaitu pengujian bending, pengujian morfologi dan pengujian biodegradasi. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan besar orientasi dengan arah serat yang diperoleh pada fraksi massa 20%, 40% dan 60% berturut-turut sebesar (6,56 ± 1,43)Mpa, (10,70 ± 1,62) MPa dan (17,84 ± 2,62) MPa. Besar kekuatan bending dengan orientasi arah serat acak yang diperoleh pada fraksi massa 20%, 40% dan 60% berturut-turut sebesar (4,16 ± 1,67) MPa, (10,06 ± 1,62) Mpa dan (7,98 ± 0,13) MPa.

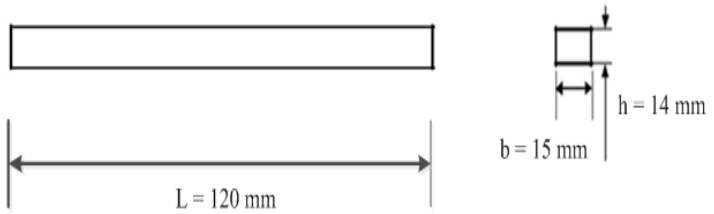
2. Metode Penelitian

Material bahan komposit yang telah mengering atau jadi dilepas dari cetakan, selanjutnya diukur dan dibentuk sesuai bentuk standar benda uji ASTM.

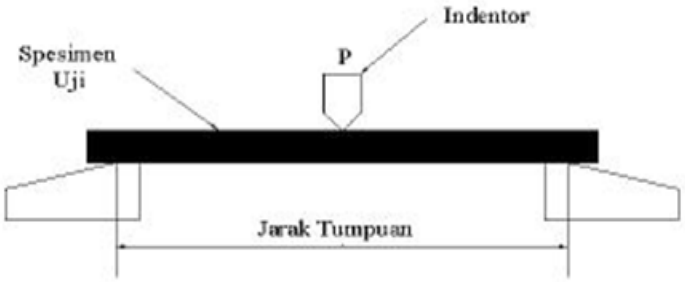
a. Uji Bending

Kekuatan bending atau kekuatan lentur adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung pada jenis material dan pembebanan. Akibat pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah, hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit. Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah. Pengujian dilakukan three point bending.

Material komposit dibuat mengikuti standar ASTM D790-03 dengan panjang 120 mm, lebar 15 mm dan tebal 14 mm, 16 mm dan 18mm.



Gambar 1. Spesimen Bending ASTM D790-03



Gambar 2. Pemasangan Benda Uji

Pada perhitungan kekuatan bending ini, digunakan persamaan yang ada pada standar ASTM D790-03, sama seperti pada persamaan di atas, yaitu:

$$S = \frac{3PL}{2b.h^2}$$

Dimana;

S = Tegangan bending (MPa)

P = Beban /Load (N)

L = Panjang Span / Support span (mm)

b = Lebar/ Width (mm)

h = Tinggi / high (mm)

b. Morfologi Komposit

Pengamatan morfologi komposit dilakukan dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Pengamatan dilakukan pada permukaan struktur yang patahan.

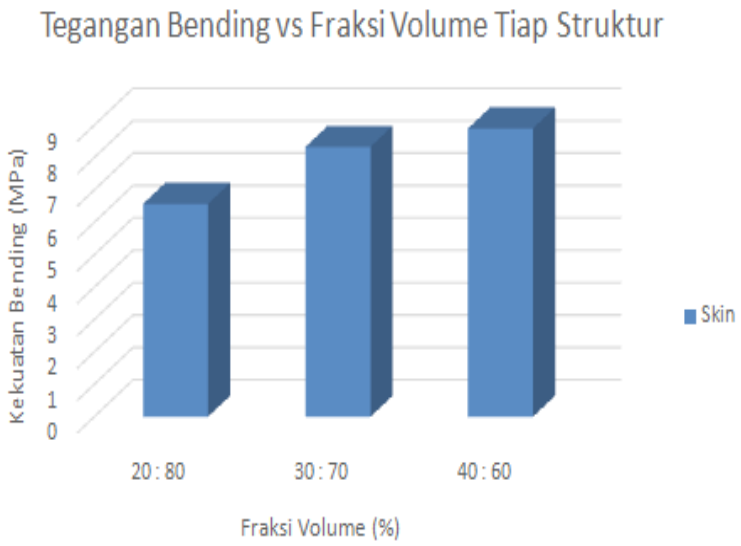
3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil Uji Tarik

Pengujian bending merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk menguji ketangguhan suatu spesimen bila diberikan beban secara tiba-tiba atau langsung melalui tumbukan sehingga benda uji mengalami deformasi. Pengujian kekuatan bending komposit dengan penguat serbuk gergaji kayu sengon laut (*core*) fraksi volume 40% : 60% dan serat aren (*skin*) yang bermatrik polyester dilakukan pengujian dengan variasi fraksi volume 20% : 80%, 30% : 70% dan 40% : 60%. Berikut data hasil dari pengujian bending tiap struktur dapat dilihat dari tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kekuatan Bending Struktur

Spesimen		Fraksi *Volume* (%)		
		20 : 80	30 : 70	40 : 60
Kekuatan *Bending*(MPa)	*Skin*	6,57	8,33	8,90
	Core			11,42



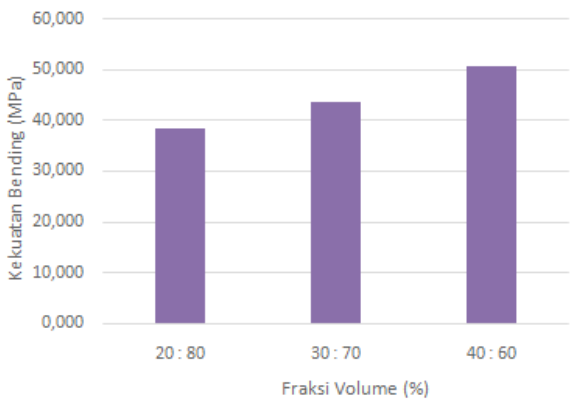
Gambar 3. Kekuatan Bending Struktur

Dari Tabel 1 dan Gambar 3 dapat diketahui nilai tegangan maksimum yang diperoleh dariskin fraksi volume 20% : 80% sebesar 6,57 MPa, dari fraksi volume 30% : 70% sebesar8,33 MPa dan dari skin fraksi volume 40% : 60% adalah sebesar 8,90 MPa. Nilai tegangan maksimum yang diperoleh dari core dengan komposisi fraksi volume 40% : 60% sebesar 11,42 MPa.

Pengujian kekuatan bending tidak hanya dilakukan pada spesimen benda uji, tetapi dilakukan juga pada papan partikel yang ada di pasaran dimana pengujian pada papan partikel dilakukan untuk mengkomparasikan hasil kekuatan bending dengan komposit sandwich berpenguat serat aren (skin) dan serbuk gergaji kayu sengon (core). Berikut data hasil dari pengujian bending dapat dilihat dari Tabel.2 yang masing-masing hasilnya didapat dari rata-rata.

Tabel 2. Pengujian Kekuatan Bending

Spesimen		Fraksi *Volume* (%)		
		20 : 80	30 : 70	40 : 60
Kekuatan *Bending* (MPa)	1	37,62	41,30	50,24
	2	38,60	43,44	50,43
	3	38,79	46,74	51,18
Rata-Rata		38,337	43,827	50,617



Gambar 4 Kekuatan Bending Spesimen

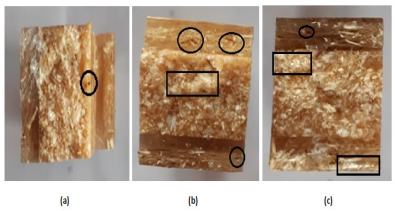
Dari Tabel 2 dan Gambar 4 diketahui nilai tegangan maksimal dari komposisi fraksi volume 20% : 80% sebesar 37,62 MPa, 38,60 MPa dan 38,79 MPa, sehingga diperoleh nilai tegangan maksimum rata-rata dari fraksi volume 20% : 80% adalah 38,34 MPa. Selanjutnya untuk nilai tegangan maksimum pada komposisi fraksi volume 30% : 70% sebesar 41,30 MPa, 43,44 MPa dan 46,74 MPa, maka nilai tegangan maksimum rata-rata dari fraksi volume 30% : 70% adalah 43,83 MPa. Nilai tegangan maksimum dari fraksi volume 40% : 60% sebesar 50,24 MPa, 50,43 MPa dan 51,18 MPa, maka nilai tegangan maksimum rata-rata dari fraksi volume 40% : 60% adalah 50,62 MPa.

Dari Gambar 4 diketahui bahwa tegangan maksimum tertinggi dicapai pada komposisi fraksi volume 40% : 60%. Penambahan fiber pada *skin* fraksi volume 20% sampai dengan fraksi volume 40% akan meningkatkan tegangan bending. Faktor lain yang perlu dipertimbangkan adalah penggunaan zat adesif/ lem perekat yang kurang banyak atau kurang merata pada saat penggabungan komposit mengakibatkan antara skin dan *core* tidak dapat mengikat dengan kuat. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap kemampuan komposit untuk menahan beban, sehingga tegangan yang diberikan pada spesimen tidak akan terdistribusi secara merata. Hal inilah yang bisa menyebabkan turunnya kekuatan lentur pada komposit.

Hasil dari data pengujian di atas, menunjukan bahwa hasil kekuatan bending komposit sandwich berpenguat serat aren (skin) dan serbuk gergaji kayu sengon (core) lebih tinggi dari pada hasil kekuatan bending papan partikel yang ada di pasaran (21,89 MPa).

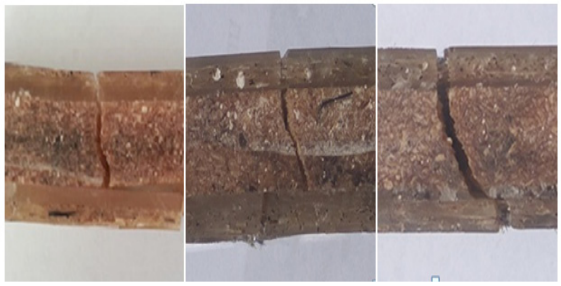
b. Morfologi Komposit Sandwich

Foto makro dari komposit dapat memberikan sebagian informasi yang mendukung sifat dari komposit tersebut. Adapun hasil foto makro Komposit Sandwich dengan Fraksi Volume Skin (a) 20% : 80%, (b) 30% : 70% dam (c) 40% : 60% yang dihasilkan dari pengamatan yang dilakukan sebagai berikut



Gambar 5 Foto Makro Komposit Sandwich

Pada Gambar 5, merupakan struktur makro dari komposit yang menunjukan adanya void dan aglomerasi/gumpalan dari unsur penyusun komposit. Pada Gambar 5(a) terlihat bahwa struktur makro spesimen dengan fraksi volume *skin* 20% : 80% memiliki komposisi matrik pada *skin* yang lebih banyak dan dominan. Pada bagian *core* tampak serbuk gergaji lebih yang lebih jelas. Kemudian pada Gambar 5(b) spesimen dengan fraksi volume 30% : 70%, terlihat adanya *void* pada patahan spesimen maupun aglomerasi penyusun komposit laminasi. Selanjutnya Gambar 5(c) spesimen komposit dengan fraksi volume 40% : 60% serat aren menunjukan bahwa skin lebih menyatu dengan matrik. Skin dan core tersebut menyatu kuat karena adanya adesif yang cukup dan penekanan pada saat penggabungan.



(a) (b) (c)

Gambar 6 Foto Makro kegagalan Komposit

Pada Gambar 6 terlihat adanya pola kegagalan komposit sandwich pada pengujian bending. Pada Gambar 6(a) spesimen dengan fraksi volume 20% : 80% terlihat adanya kegagalan tarik *skin* pada sisi bawah, kegagalan tekan skin pada sisi atas, kegagalan geser *cor*e, delaminasi struktur skin komposit sisi bawah dengan *core* pada ikatan *interfacial* dan adanya kegagalan serat terlepas atau *fiber pull out* pada skin komposit baik pada sisi atas maupun sisi bawah. Selanjutnya pada Gambar 6(b) terlihat adanya pola kegagalan retakan pada spesimen dengan fraksi volume 30% : 70%. Terdapat kegagalan tarik skin pada sisi bawah, kegagalan geser core dan delaminasi struktur skin komposit sisi bawah dengan core pada ikatan interfacial. Kemudian pada Gambar 6(c) spesimen komposit sandwich dengan fraksi volume 40% : 60% juga terdapat pola kegagalan yang serupa adanya kegagalan tarik skin pada sisi bawah dan kegagalan geser *core.*

Berdasarkan pengujian pada struktur komposit sandwich berdasarkan berbagai variasi yang telah ditentukan maka dapat diketahui bahwa:

1) Fraksi volume 20% : 80%

   Pada spesimen dengan fraksi volume 20% : 80% yang telah diujikan, dapat diketahui bahwa dari pengamatan struktur mikro spesimen dengan fraksi volume *skin* 20% : 80%, dimana matrik pada skin lebih dominan. Pada *core* tampak serbuk gergaji lebih jelas. *Skin* dan *core* tersebut kurangmenyatu kuat karena kekurangan zat adesif yang cukup dan penekanan pada saat penggabungan. Terlihat juga pola kegagalan komposit *sandwich* pada pengujian bending dengan fraksi volume 20% : 80% seperti halnya kegagalan tarik *skin* pada sisi bawah, kegagalan tekan skin pada sisi atas, kegagalan geser *core*, dan delaminasi struktur skin komposit sisi bawah dengan *core* pada ikatan *interfacial.*

b) Fraksi volume 30% : 70%

   Pada spesimen dengan fraksi volume 30% : 70% yang telah diujikan, dapat diketahui bahwa dari pengamatan struktur mikro, serat aren pada spesimen dengan fraksi volume

skin 30% : 70% lebih menyatu dengan matrik, namun terlihat juga masih adanya beberapa *void* yang terdapat pada skin tersebut. Terlihat juga pola kegagalan komposit *sandwich* pada pengujian bending dengan fraksi volume 30% : 70% seperti halnya kegagalan tekanskin pada sisi atas, kegagalan geser *core*, dan delaminasi struktur skinkomposit sisi atas dengan *core* pada ikatan *interfacial*. Pada saat penggabungan komposit *sandwich*, zat adesif yang digunakan kurang banyak atau kurang merata. Mengakibatkan antara *skin* dan *core* tidak dapat mengikat dengan kuat, akhirnya beban atau tegangan yang diberikan pada spesimen tidak akan terdistribusi secara merata. Hal ini juga bisa menyebabkan turunnya kekuatan bending pada komposit *skin* dan *core* tersebut menyatu kuat karena adanya zat adesif yang cukup dan penekanan disaat penggabungan.

3) Fraksi volume 40% : 60%

Pada spesimen dengan fraksi volume 40% : 60% yang telah diujikan, dapat diketahui bahwa dari pengamatan struktur mikro, serat aren pada spesimen dengan fraksi volume *skin* 40% : 60% lebih menyatu dengan matrik. Pada core tampak serbuk gergaji lebih jelas. *Skin* dan *core* tersebut menyatu kuat karena adanya adesif yang cukup dan penekanan disaat penggabungan. Pada ketiga spesimen tidak hanya mengalami keretakan. Terlihat juga pola kegagalan komposit *sandwich* pada pengujian bending dengan fraksi volume 40% : 60% seperti halnya kegagalan tarik skin pada sisi bawah dan kegagalan geser *core* untuk seluruh spesimen,kegagalan tekan skin pada sisi atas untuk spesimen 2 dan spesimen 3, dan delaminasi struktur skin komposit sisi bawah dengan *core* pada ikatan interfacial untuk spesimen 2.

Secara umum, pola kegagalan komposit sandwich serat aren dengan *core* limbah gergaji kayu sengon laut diawali dengan retakan pada komposit *skin* yang mengalami tegangan tarik. Beban bending tersebut didistribusikan pada *core* sehingga core mengalami kegagalan. *Skin* yang semula menderita beban tekan akhirnya mengalami kegagalan seiring dengan gagalnya *core.* Disamping itu juga terdapat kegagalan tarik pada komposit *skin* bagian bawah, kegagalan geser pada *core*, kegagalan tekan pada komposit *skin* bagian atas, delaminasi skin dan core pada ikatan interfacial. Delaminasi yang terjadi pada ketiga fraksi volume dikarenakan adanya penggunaan zat adesif yang kurang banyak atau kurang merata pada saat penggabungan komposit *sandwich*, sehingga mengakibatkan antara *skin* dan *core* tidak dapat mengikat dengan kuat. Selanjutnya dari pengamatan foto makro patahan dapat diketahui bahwa kegagalan yang terjadi adalah adanya serat terlepas atau *fiber pull out* pada *skin* akibat ikatan yang lemah antara matriks dan serat. Adanya peningkatan fraksi volume turut mempengaruhi kegagalan fiber pull out dimana kegagalan fiber pull out lebih banyak dialami komposit *sandwich* dengan perbandingan fraksi volume 20% : 80% dan seiring dengan peningkatan fraksi volume kegagalan tersebut menjadi tidak dapat dikurangi dengan proses manufaktur yang tepat.

KESIMPULAN

1. Kekuatan lentur material meningkatkan dengan bertambahnya fraksi volume pada serat. Komposit sandwich dengan fraksi volumeskin 40% memiliki rata-rata kekuatan bending paling tinggi yaitu 50,62 MPa.
2. Pola patahan pada spesimen didominasi oleh kegagalan tarik pada skin bagian bawah dan delaminasi yang diakibatkan oleh kurangnya zat adesif pada waktu penggabungan *core* dan *skin*.
3. Berdasarkan komparasi hasil pengujian dengan komposit yang ada di pasaran dapat memenuhi persyaratan kekuatan bending yaitu sama atau lebih besar dari 21,89 MPa.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami ucapakan kepada LP2M Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto yang telah mendanai penelitian ini melalui skema dana penelitian internal ini, Sdr. Bagus Wicaksono serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian tersebut.

Daftar Pustaka

[1] Catur, A.D, dkk., (2014). Sifat Mekanik Komposit Sandwich Berpenguat Serat Bambu-Fiberglass dengan CorePolyurethan Rigid Foam, Jurnal Rekayasa Mesin Volume 5, No.1 Tahun 2014 51-57.

[2] Catur, A.D, dkk., (2017). Kekuatan Bending dan Berat Jenis Komposit Sandwich Yang diperkuat Z-Pin Bambu. Simposium Nasional –RAPI XVI, FT-UMS.

[3] Hariyanto, A., dan Apriandana, R., 2109. Komposit Sandwich Berpenguat Hybrid Serat Bambu Ori dan Serat Rami pada Skin dan Berpenguat Serbuk Kayu Sengon Laut serta Serbuk Tempurung Kelapa pada Core dengan Matrik Polyester. Simposium Nasional – RAPI XVIII, FT-UMS.

[4] Nurhidayat, A., (2016). Pengaruh Ketebalan Core Terhadap Sifat Mekanik Komposit Sandwich Cantuta- HDPE Daur Ulang Sebagai Bahan Penutup Lantai Ramah Lingkungan. Prosiding SNATIF, 159- 166.

[5] Wulantika, N. (2014). Kekuatan dan ModulusBending Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serat Ampas Tebu dengan Matrik Asam Polilaktat.

[6] Xie, D., (2009). Kekuatan impak komposit sandwich berpenguat serat aren.

[7] F. Abdurrachman. (2017). Analisa Teknis Komposit Berpenguat Serat Daun Nanas (*Smooth Cayenne*) Dan Serat Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum L*) Sebagai alternatif Komponen Kapal Ditinjau Dari Kekuatan *Bending*Dan Impack.

[8] Umbara, N.A.A., (2011). Pengaruh Ketebalan Core Dan Jumlah Siklus Beban *Bending*Dinamis Terhadap Penuruan Kekuatan Komposit Sandwich Serat Aren Dengan *Core*Serbuk Gergaji Kayu Sengon Laut.

[9] Munandar,I., Savetlana, S., (2013). Kekuatan Tarik Serat Ijuk (Arenga Pinnata Merr).

[10] Diharjo, K., (2006). Karakteristik Alkali Terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester.

BUCKLING ANALYSIS OF ISOTROPIC PLATES (AL 2024-T3) AND QUASI-ISOTROPIC PLATES (CARBON/EPOXY T300/5208)

Dwi Hartini[1], Hendrix Noviyanto F.[2], Muh. Nadlah Arifqi M[3], M.Ridlo E.Nasution[4]
[1,3]Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta, Indonesia
[2]Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia
mdwihartini@ymail.com[1]

Abstract

Buckling is a condition where an object is bent due to the application of a compression (compressive) load on the object. Buckling often occurs in thin-walled structures such as plates. This study aims to determine the buckling strength of isotropic and quasi-isotropic plates. The method used is the Finite Element Method (MEH). The isotropic material uses aluminum 2024-T3, while the quasi-isotropic material uses carbon/epoxy T300-5208 with a [0°/90°/45°/-45°]s laminate arrangement. Modeling and analysis using MSC software. The buckling analysis results show the critical buckling stress value on the isotropic plate is and on the quasi-isotropic plate is and is still within safe limits when viewed from the Buckling Load Factor (BLF) with a value >1.

Keyword: *Buckling, plates, isotropic, quasi-isotropic*

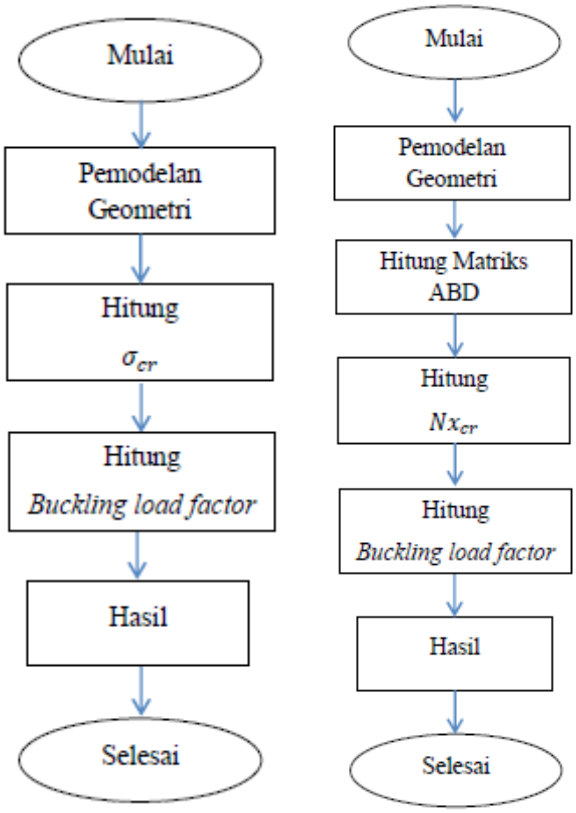
1. Pengantar

Buckling adalah kondisi di mana suatu benda bengkok akibat penerapan beban kompresi (tekan) pada benda tersebut. Dalam dunia penerbangan sering kita jumpai fenomena *buckling* pada bagian pesawat tertentu. Pada penelitian yang menganalisis panel *wingbox* bagian *upper skin* pesawat RQ-4 NASA Global Hawk terhadap *buckling*, *wingbox* bagian *upper skin* disederhanakan dari pelat yang memiliki kelengkungan mengikuti bentuk airfoil menjadi pelat datar persegi panjang. Hal ini berakibat pada beban kritis yang dihasilkan pelat datar lebih kecil daripada pelat dengan kelengkungan [1]. Penyederhanaan geometri panel *wingbox skin* menjadi pelat datar cukup valid mengingat pelat datar mempunyai momen inersia yang lebih kecil dan beban kritis yang dihasilkan lebih kecil daripada pelat dengan kelengkungan [2]. Dengan kata lain, perhitungan beban kritis dengan pelat datar dapat memperoleh hasil yang konservatif.

Buckling bisa terjadi pada semua material baik itu material *isotropic* maupun *anisotropic* (*quasi-isotopic*). Material *isotropic* adalah material yang memiliki kesamaan sifat dari segala arah, sedangkan material *anisotropic* adalah material yang mempunyai sifat berbeda, dimana sifat-sifatnya berubah dengan perubahan arah, yang berarti merupakan fungsi arah. Material *quasi-isotopic* merupakan material *anisotropic* yang mempunyai sifat seperti *isotropic* dan dicirikan dengan susunan lapisan [0°/90°/+45°/-45°]s atau [0°/-60°/+60°]s. Kedua material tersebut diaplikasikan pada material pelat datar untuk dianalisis. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan kritis *buckling* (*critical buckling stress*) dan kekuatan *buckling* pada pelat *isotropic* dan *quasi-isotropic*.

2. Metodologi Penelitian

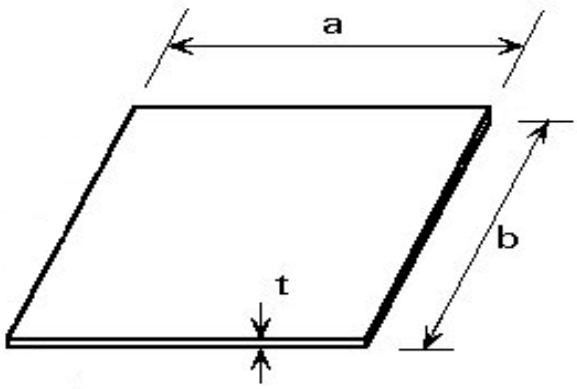
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Finite Element Method* (FEM). Penelitian ini dimulai dengan pemodelan dan analisis struktur menggunakan *software*, kemudian dari hasil analisis akan ditentukan respon struktur dalam bentuk tegangan kritis *buckling* (*Critical Buckling Stress*). Langkah selanjutnya menghitung *Buckling Load Factor (BLF) / Buckling Factor of Safety (BFS)* sebagai indikator faktor keamanan terhadap beban *buckling*.



Gambar 1. Diagram Alir Analisis *Buckling* (a) Pelat *Isotropic* (b) Pelat *Quasi-Isotropic*

a. ***Objek Penelitian***

Objek penelitian yang digunakan adalah pelat datar dengan dimensi pelat diasumsikan a×b×t=100 mm×50 mm×8 mm [3].



Gambar 2. Dimensi Pelat

b. Material

Material *isotropic* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Alumunium 2024-T3, sedangkan untuk material komposit menggunakan Carbon/Epoxy T300/5208 jenis *quasi-isotropic* dengan susunan [0°/90°/45°/-45°]s. Tabel 1 dan 2 menampilkan *material properties* dari kedua material tersebut.

Tabel 1. *Properties* Alumunium 2024-T3 [4]

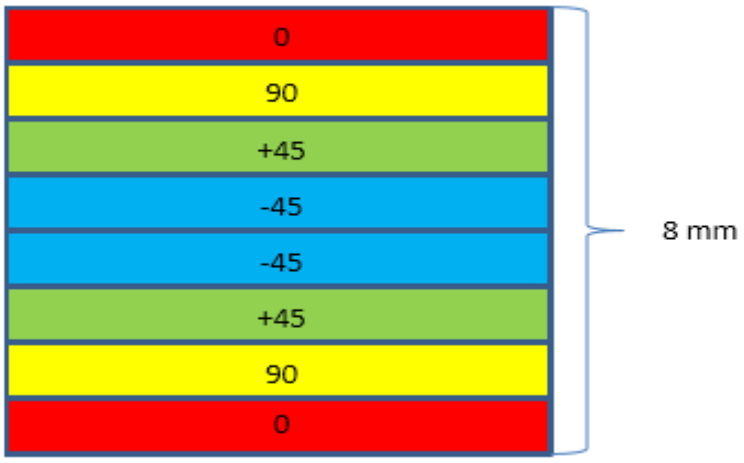
Parameter	Value	Unit
Elastic Modulus	73100	Mpa
Poisson Ratio	0,33	-
Density	2780	kg/m³

Tabel 2. *Properties Carbon/Epoxy* T300-5208 *(Unidirectional)* [5]

Properties	Value	Unit
Density	1600	kg/m³
Elastic Modulus 11	181000	Mpa
Elastic Modulus 22	10300	MPa
Shear Modulus 12	7170	MPa
Poisson Ratio12	0,28	-
Tension Stress Limit 11	1500	MPa
Compress Stress Limit 11	1500	Mpa
Tension Stress Limit 22	40	MPa
Compress Stress Limit 22	246	MPa
Shear Stress Limit	68	MPa

c. Konfigurasi Pelat Laminat

Pelat laminat yang dianalisis adalah pelat laminat dengan susunan *quasi- isotropic*. Pelat tersebut dicirikan dengan susunan lapisan [0°/90°/+45°/-45°]s atau [0°/-60°/+60°]s (gambar 3). Jumlah lapisan yang digunakan adalah 8 lapis, dimana setiap lapis memiliki ketebalan 1 mm, sehingga total ketebalan laminat adalah 8 mm.



Gambar 3. Susunan Laminat [0°/90°/+45°/-45°]s

d. Kondisi Batas

Analisis *buckling* yang dilakukan pada pelat datar hanya mendapat beban kompresi saja. Modus *buckling* akibat beban geser dan *bending* tidak dianalisis dalam penelitian ini. Kondisi batas pada pelat ini adalah *simply supported* di tiap sisinya (*all edges supported*). Kondisi batas ini dipilih karena akan menghasilkan koefisien *buckling* kompresi yang paling kecil dibandingkan dengan kondisi batas lainnya. Dengan menggunakan kondisi batas ini, maka beban kritis *buckling* pada pelat yang didapat akan lebih aman dibandingkan kondisi batas lainnya.

e. Matriks ABD [2]

Matriks ABD adalah matriks kekakuan pada laminat yang terdiri dari matriks A (matriks kekakuan panjang), matriks B (matriks kekakuan kopel) dan matriks D (matriks kekakuan *bending*). Matriks ABD ditentukan dengan persamaan 1sampai dengan 3.

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{n} C'_{ijk}\left(z_k - z_{k-1}\right) \tag{1}$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n} C'_{ijk}\left(z_k^2 - z_{k-1}^2\right) \tag{2}$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3}\sum_{k=1}^{n} C'_{ijk}\left(z_k^3 - z_{k-1}^3\right) \tag{3}$$

f. Buckling pada Pelat Isotropic [6]

Tegangan kritis *buckling* (*Critical Buckling Stress*) pada pelat *isotropic* dihitung menggunakan persamaan 4.

$$\acute{o}_{cr} = K\frac{E}{1-\acute{\imath}^2}\left(\frac{t}{b}\right)^2 \tag{3}$$

Dimana,

koefisien *buckling* tergantung rasio $\frac{a}{b}$, σ_{cr} = tegangan kritis *buckling*, E = modulus elastisitas, t = tebal pelat, *u* = *poisson ratio*, b = lebar pelat, a = panjang pelat.

g. Buckling pada Pelat Komposit [2]

Untuk pelat datar komposit laminat simetri dengan kondisi batas *simply supported* yang diberi beban kompresi, dan dengan menggunakan beberapa asumsi deformasi geser transversal diabaikan, perpindahan yang terjadi kecil jika dibandingkan dengan tebal pelat, regangan yang terjadi kecil dan bersifat linier, beban yang terjadi hanya pada arah *x* saja, artinya terjadi gaya kompresi dalam arah *x* saja, beban kritis *buckling* dihitung menggunakan persamaan 5.

$$Nx_{cr} = \pi^2\left[D_{11}\left(\frac{m}{a}\right)^2 + 2(D_{12} + 2D_{66})\left(\frac{1}{b}\right)^2 + D_{22}\left(\frac{1}{b}\right)^4\left(\frac{a}{m}\right)^2\right] \tag{3}$$

Dimana,

Nx_{cr} beban kritis *buckling*, m = jumlah lengkungan searah terhadap arah beban, d = matriks kekakuan lentur, b = lebar pelat pelat, a = panjang pelat.

h. Analisis** Buckling **pada** Software**[7]

Hasil analisis dengan *software* Patran/Nastran menghasilkan *output* berupa nilai *eigenvalue*. Berdasarkan nilai *eigenvalue* tersebut dapat dihitung nilai tegangan kritis *buckling* berdasarkan persamaan 6.

$$\sigma_cr=\lambda P \tag{6}$$

Dimana,

σ_cr = tegangan kritis *buckling*, λ= *eigenvalue*, P = beban per satuan luas

i. Buckling Load Factor (BLF) / Buckling Factor of Safety (BFS) [8]

Buckling Load Factor (BLF) / *Buckling Factor of Safety* (BFS) adalah indikator faktor keamanan terhadap beban *buckling* atau rasio beban kritis *buckling* terhadap beban yang terjadi (*applied load*).

$$BLF=\frac{Critical\ Load}{Applied\ Load}=\frac{F_{cr}}{F} \tag{3}$$

Untuk menyatakan aman dari *buckling*, nilai BLF > 1 .

j. Pembebanan [8]

Besar beban/gaya kompresi yang diberikan pada pelat sebesar . Dengan luas penampang $A=b\times t=4\times10^{-4}$ m^2, sehingga diperoleh beban per satuan luas $P=2.5\times10^4$ N⁄m^2.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil Analisis Software

Hasil analisis *Software* Patran/Nastran menunjukkan *eigenvalue* dari pelat *isotropic* sebesar 215.48 (gambar 4). Sedangkan untuk hasil analisis pelat *quasi-isotropic eigenvalue*nya sebesar 201.45 (gambar 5).

b. Perhitungan Tegangan Kritis Buckling dan Beban Kritis Buckling pada Pelat Isotropic

Berdasarkan *eigenvalue* dari *software* Patran/Nastran, nilai tegangan kritis *buckling*nya sebesar $\sigma_{cr}=\lambda P=5.387\times10^6$ N⁄m^2. Sedangkan untuk nilai beban kritis *buckling*nya sebesar $F_{cr}=\sigma_{cr}$ $A=2.155\times10^3$ N.

Menggunakan perhitungan analitik, nilai tegangan kritis *buckling*nya sebesar $ó_{cr}=K\frac{E}{1-í^2}\left(\frac{t}{b}\right)^2=6.909\times10^6 N/m^2$. Sedangkan untuk nilai beban kritis *buckling*nya sebesar $F_{cr}=\sigma_{cr}$ $A=2.764\times10^3$ N. Hasil menunjukkan perbedaan perhitungan *software* dengan analitik sebesar 22.03%.

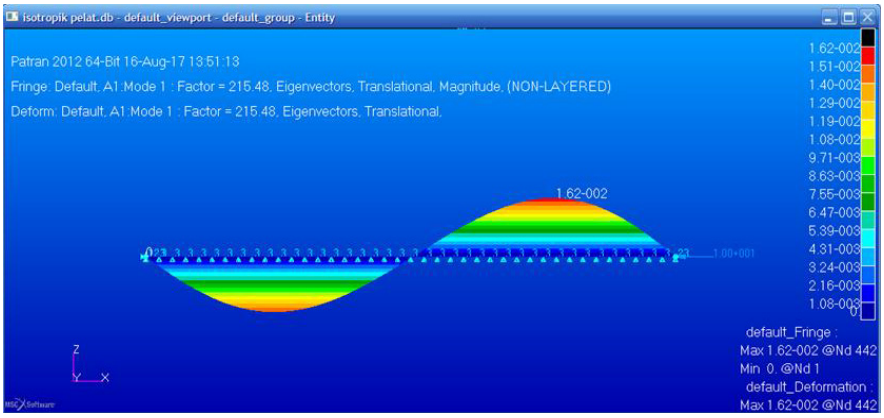
c. Perhitungan Tegangan Kritis Buckling dan Beban Kritis Buckling pada Pelat Quasi – Isotropic

Berdasarkan eigenvalue dari software Patran/Nastran, nilai tegangan kritis bucklingnya sebesar $\sigma_{cr}=\lambda P=5.036\times10^6$ N⁄m^2. Sedangkan untuk nilai beban kritis bucklingnya sebesar $F_{cr}=\sigma_{cr}$ $A=2.014\times10^3$ N.

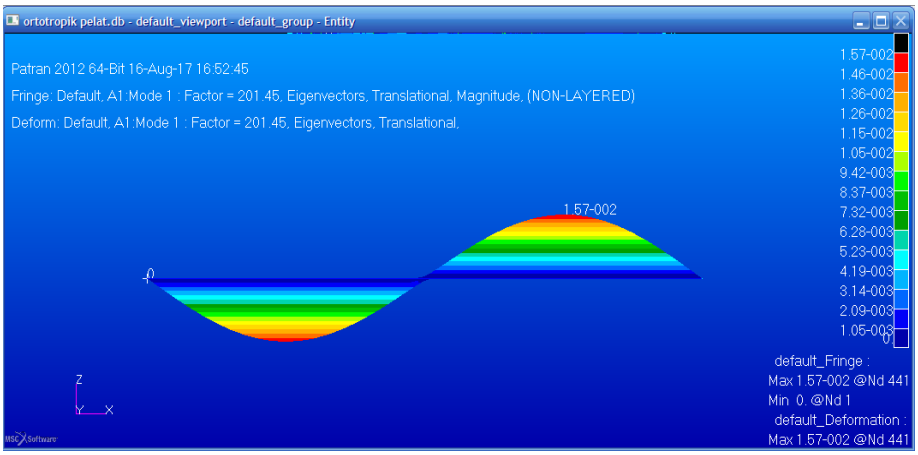
Menggunakan perhitungan analitik, nilai tegangan kritis bucklingnya didapat dengan menghitung beban kritis buckling dalam satuan terlebih dahulu, yaitu dengan persamaan 2,

$$2,\ Nx_{cr} = \pi^2 \left[D_{11} \left(\frac{m}{a}\right)^2 + 2(D_{12} + 2D_{66}) \left(\frac{1}{b}\right)^2 + D_{22} \left(\frac{1}{b}\right)^4 \left(\frac{a}{m}\right)^2 \right] = 4.149 \times 10^4\ N/m.$$

Berdasarkan hasil tersebut didapat juga nilai $\acute{o}_{cr} = Nx_{cr} \frac{1}{t} = 5.187 \times 10^6\, N/m^2$. Sedangkan untuk nilai beban kritis bucklingnya sebesar $F_{cr} = \sigma_{cr}$ $A = 2.07 \times 10^3$ N. Hasil menunjukkan perbedaan perhitungan software dengan analitik sebesar 2.9%.



Gambar 4. Hasil Analisis *Software* Patran/Nastran pada Pelat *Isotropic*



Gambar 5. Hasil Analisis *Software* Patran/Nastran pada Pelat *Quasi-Isotropic*

d. Perhitungan Buckling Load Factor (BLF) / Buckling Factor of Safety (BFS)

Nilai *Buckling Load Factor* (BLF) / *Buckling Factor of Safety* (BFS) dihitung menggunakan persamaan 4. Pada pelat *isotropic* nilai $BLF = \frac{Critical\ Load}{Applied\ Load} = \frac{F_{cr}}{F} = 201.4$, sedangkan pada pelat *quasi-isotropic* nilai .

4. Kesimpulan

Nilai BLF pada kedua pelat menunjukkan bahwa nilai BLF>1 yang berarti kedua pelat tersebut, baik pelat *isotropic* dan *quasi-isotropic* aman dari *buckling* terhadap pembebanan yang diberikan.

Daftar Pustaka

[1] Permana, Indra. 2013. *Analisis Buckling dan Flutter Sayap Pesawat Komposit dengan Aspek Rasio Tinggi*. Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.

[2] Hadi, B. K. 2000. Mekanika Struktur Komposit. Bandung: Penerbit ITB.

[3] Sumarjanto, A. P. 2013. *Faktor Konsentrasi Tegangan pada Pelat Orthotropik Berlubang dengan Pin-Loaded*. Skripsi Program Sarjana, Institut Teknologi Bandung.

[4] Ghofur, M.A. 2013. *Perancangan Awal Sayap Pesawat Komposit dengan Aspek Rasio Tinggi*. Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.

[5] IL-HDBK-17-2F, 2002. *Composite Materials Handbook : Volume 2. Polymer Matrix Composites Materials Properties. Department of Defense Handbook.*

[6] Young, C. W., Budynas, G. R. *Roark's Formulas for Stress and Strain*, Seventh Edition. Mc Graw Hill.

[7] Febrinaldy, Budi. *Finite Element Models and Verification using MSC Patran/Nastran*. Bandung.

[8] https://help.solidworks.com/2012/English/SolidWorks/cworks/Buckling_Load_Factor.htm. Diakses pada tanggal 28 Desember 2022 jam 16.15 WIB.

SISTEM PAKAR DIAGNOSA HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN JAMUR TIRAM PUTIH MENGGUNAKAN METODE CERTAINTY FACTOR DENGAN PENELUSURAN FORWARD CHAINING

Via Febri Wulandari[1], Ahmad Riyadi[2], Tri Hastono[3*]
[123]Program studi Informatika-Universitas PGRI Yogyakarta
viafebri0216@gmail.com[1], ahmadriyadi@upy.ac.id[2], trihastono@upy.ac.id[3]

Abstract

Jamur tiram merupakan salah satu jamur yang enak dimakan dan mempunyai kandungan gizi yang cukup tinggi. Tidak mengherankan bila jenis jamur ini sekarang banyak dibudidayakan. Adapun jenis jamur tiram yang banyak dibudidayakan antara lain jamur tiram putih, jamur tiram abu-abu, jamur tiram cokelat, dan jamur tiram merah. Dalam bisnis budidaya jamur tiram ternyata tidak lepas dari resiko kerugian yang muncul jika petani kurang pengetahuan mengenai budidaya jamur tiram. Potensi kerugian salah satunya karena hama dan penyakit jamur tiram. Diperlukan kehadiran pakar untuk mengatasi hal tersebut. Penelitian ini berusaha memberikan solusi untuk permasalahan tersebut. Metode yang digunakan pada penelitian adalah metode centainty factor dengan penelusuran forward chaining. Hasil penelitian menunjukkan sistem yang diusulkan sudah sesuai harapan dengan tingkat akurasi sistem sebesar 86%.

Keyword: jamur tiram putih, Sistem Pakar, certainty factor, forward chaining

1. Pendahuluan

Jamur tiram putih (Pleurotus ostreatus) adalah sejenis jamur yang berbentuk setengah lingkaran pada tudungnya sehingga mirip dengan cangkang tiram yang bagian tengah agak cekung. Menurut hasil penelitian jamur tiram mengandung 19%-35% protein lebih tinggi dibanding kan beras 7,38% atau gandum 13,2%. Kandungan lain dari jamur tiram diantaranya adalah asam amino, vitamin B1, B2, vitamin C dan masih banyak kandungan lainnya[1][2].

Jamur tiram putih (Pleurotus ostreatus) termasuk organisme yang bersifat heterotrof sehingga tidak dapat mensintesis makanan. Untuk memperoleh makanan, jamur mengeluarkan enzim pencerna dan menyerap hasil perombakan zat organik dan lingkungan melalui misellium. Jamur tiram putih merupakan merupakan jenis jamur kayu yang memiliki kandungan nutrisi lebih tinggi dibandingkan dengan jamur kayu lainnya[3].

Banyak masyarakat yang mengenal jamur tiram putih ini dan mulai membudidayakannya karena dianggap mudah dan efisien. Karena itulah jamur tiram putih menjadi pilihan bagi masyarakat sebagai makanan yang sangat diminati. Hal tersebut menjadikan permintaan pasar akan jamur tiram semakin meningkat[4][5]. Permintaan akan jamur tiram putih bukan hanya dalam negeri, tetapi juga permintaan pasar luar negeri yang sangat tinggi. Selain itu cara budidaya dari jamur tiram putih cukup mudah dan dapat dilakukan sepanjang tahun tanpa memerlukan lahan yang luas, jamur tiram cukup toleran terhadap lingkungan dan dapat dijadikan sebagai pekerjaan utama maupun pekerjaan sampingan [6].

Dalam bisnis budidaya jamur tiram ternyata tidak lepas dari resiko kerugian yang muncul jika petani tidak tekun dan teliti dalam memelihara tanaman jamur tiram. Para petani

kesulitan mengidentifikasi hama atau penyakit yang menyerang tanaman jamur tiram sehingga pencegahan yang akan dilakukan dalam menangani proses pemeliharaan tanaman jamur tiram kurang tepat [7]-[9].

Diperlukan kehadiran pakar jamur tiram putih agar permasalahan tersebut dapat diatasi. Penelitian ini memberikan solusi untuk kepakaran jamur tiram putih. Adapun metode pada penelitian ini menggunakan metode Certainty Factor dengan teknik penelusuran Forward Chaining. Hasil dari penelitian ini diharapkan membantu para pembudidaya jamur tiram putih tidak mengalami kerugian.

2. Landasan Teori

a. Jamur Tiram Putih

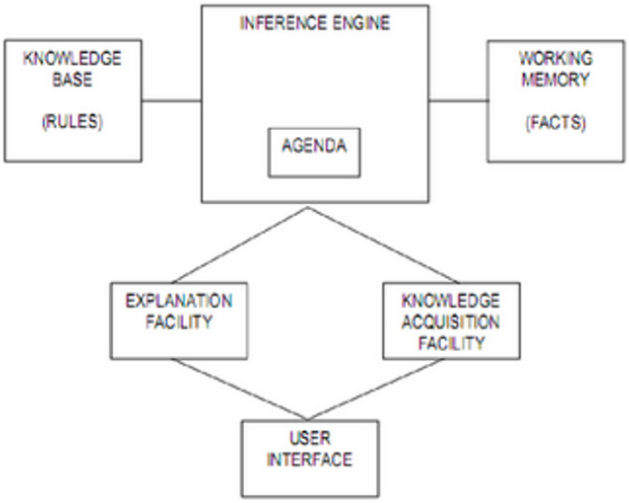
Jamur tiram dikenal dengan sebutan oyster mushroom. Bentuk tudung jamur ini menyerupai cangkang kerrang atau tiram degan bagian tepi bergelombang. Jamur ini memiliki bentuk tangkai tudung menyerupai cangkang kerang dengan bagian tengah cekung dan berwarna putih sampai krem [2][1]

Pada budidaya jamur tiram, suhu udara memang peranan yang penting untuk mendapatkan pertumbuhan badan dan buah yang optimal. Suhu yang optimal pada pertumbuhan jamur tiram dibedakan dalam dua fase yaitu fase inkubasi memerlukan suhu udara 22-280 C dan fase pembentukan tubuh buah memerlukan suhu 16-220C. dengan rata-rata kelembapan 60-70%. Pertumbuhan jamur tiram juga terpengaruh dengn tingkat keasaman media. Adanya pH terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan jamur. Keasaman pH media ideal antara pH 6-7 [2][6].

b. Sistem Pakar

Secara definisi sistem pakar dapat diartikan sebagai program computer yang didalamnya terdapat basis pengetahuan pakar dan bekerja selayaknya pakar. Definisi lain dari sistem pakar adalah aplikasi komputer yang ditujukan untuk membantu pengambilan keputusan atau pemecah persoalan dalam bidang yang spesifik[10][11].

Struktur sistem pakar sendiri terdiri dari knowledgebase (rules), inference engine, working memory, expalanation facility, knowledge acquisition facility, user interface (Gambar 1).



Gambar 1. Gambar Struktur Sistem Pakar

Knowledgebase atau Basis Pengetahuan mengandung pengetahuan untuk pemahaman, formulasi, dan penyelesaian masalah. Komponen sistem pakar disusun atas dua elemen dasar, yaitu fakta dan aturan. Fakta merupakan informasi tentang cara bagaimana memperoleh fakta baru dari fakta yang telah diketahui. Pada struktur sistem pakar diatas, knowledge base disini untuk menyimpan pengetahuan dari pakar berupa rule / aturan (if <kondisi> then <aksi> atau dapat juga disebut condition-action rules).

Mesin inferensi (inference engine) merupakan kotak dari sebuah sistem pakar dan dikenal juga dengan sebutan control structure atau rule interpreter (dalam sistem pakar berbasis kaidah). Komponen ini mengandung mekanisme pola pikir dan penalaran yang digunakan oleh pakar dalam menyelesaikan suatu masalah. Working memory berguna untuk menyimpan fakta yang dihasilkan oleh inference engine dengan penambahan parameter berupa derajat kepercayaan atau dapt juga dikatakan sebagai global database dari fakta yang digunakan oleh rule-rule yang ada. Explanation facility sendiri menyediakan kebenaran dari solusi yang dihasilkan kepada user (reasoning chain).

Knowledge acquisition facility meliputi proses pengumpulan, pemindahan, dan perubahan dari kemampuan pemecahan masalah seorang pakar/sumber pengetahuan dterdokumentasi ke program komputer, yang bertujuan untuk memperbaiki/mengembangkan basis pengetahuan. User interface adalah mekanisme untuk memberi kesempatan pada user dan sistem pakar untuk berkomunikasi. Antar muka menerima informasi dari pemakai dan mengubahnya kedalam bentuk yang dapat di terima oleh sistem. Selain itu antar muka menerima informasi dari sistem dan menyajikan kedalam bentuk yang dapat di mengerti oleh pemakai.

b. Centainty Factor

Teori Certainty Factor (CF) adalah untuk mengakomodasikan ketidakpastian pemikiran (inexact reasoning) seorang pakar yang diusulkan oleh Shortliffe dan Buchanan pada tahun 1975. Seorang pakar (misalnya dokter) sering menganalisis informasi yang dengan ungka pan dengan ketidakpastian, untuk mengakomodasikan hal ini digunakan Certainty Factor(CF) guna menggambarkan tingkat keyakinan pakar terhadap masalah yang sedang dihadapi.

Certainty Factor (Faktor Ketidak pastian) menyatakan kepercayaan dalam sebuah kejadian (fakta atau hipotesa) berdasarkan bukti atau penilaian pakar. Certainty Factor menggunakan suatu nilai untuk mengansumsikan derajat keyakinan seorang pakar terhadap suatu data. Tingkat keyakinan pakar terhadap masalah sendiri disajikan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Tabel Keyakinan Pakar

Uncertainty Term	CF
Pasti tidak	-1
Hampir pasti tidak	-0,8
Kemungkinan besar tidak	-0,6
Mungkin tidak	-0,4
Tidak tahu	-0,2 sampai 0,2
Mungkin	0,4
Kemungkinan besar	0,6
Hampir pasti	0,8
Pasti	1

Perhitungan menggunakan metode Certainty Factor (Faktor Ketidak pastian) menggunakan rumus seperti yang disajikan sebagai berikut.

$$MB=MB\ Lama+(MB\ Baru*(1-MB\ Lama)) \quad (1)$$

$$MD=MD\ Lama+(MD\ Baru*(1-MB\ Lama)) \quad (2)$$

$$CF\ (H,E)=MB\ (H,E)-MD(H,E) \quad (3)$$

Keterangan :

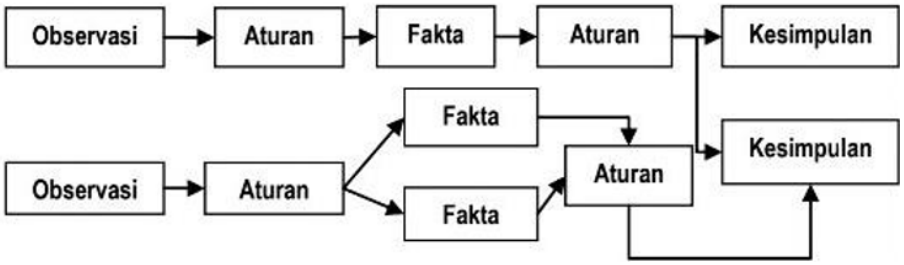
CF (H,E) : Centaity Factor (Faktor Kepastian) dari hipotesis H yang dipengaruhi oleh gejala (evidence) E. Besarnya CF berkisar antara -1 sampai 1. Nilai -1 mennunjukkan ketidakpercayaan mutlak sedangkan nilai 1 menunjukkan kepercayaan mutlak.

MB (H,E) : Ukuran kenaikkan kepercayaan (Measure Of Belief) terhadap hipotesis H yang dipengaruhi oleh gejala E.

MD (H,E) : Ukuran kenaikkan ketidakpercayaan (Measure Of Disbelief) terhadap hipotesis H yang dipegaruhi oleh gejala E

d. Forward Chainning

Forward chaining adalah Teknik pencarian yang dimulai dengan fakta yang diketahui kemudian mencocokan fakta-fakta tersebut dengan bagian IF dari rule IF-THEN (Gambar2).

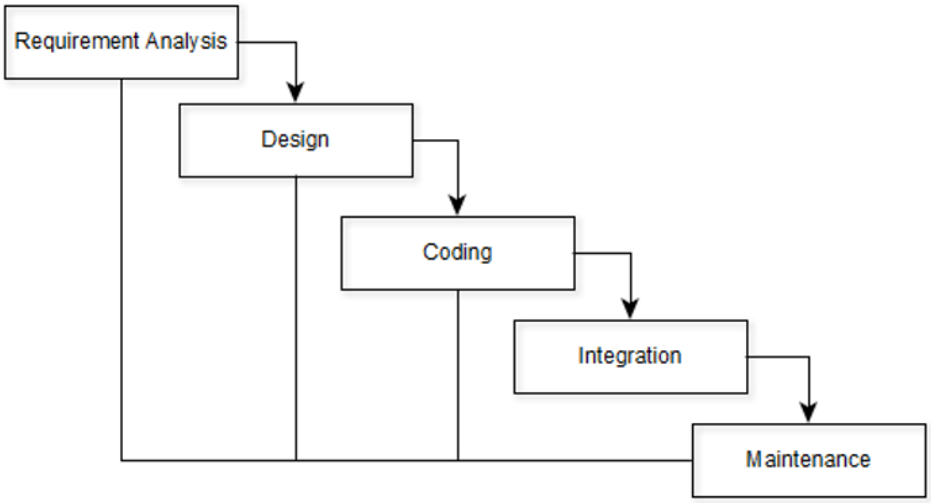


Gambar 2. Gambar Inferensi Forward Chaining

e. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini data yang digunakan merupakan data primer. Data primer tersebut penulis dapatkan menggunakan metode survey dan wawancara pakar jamur tiram putih. Terdapat 4 pakar yang menjadi sumber data penelitian. 4 pakar tersebut adalah Ir. Susana Rini Hasuti (Plt. Kepala Sekri Pupuk Pestisida), Bapak Setiawan Sidik P, S.St,. (Kepala Subag TU PTD Balai Benih Pertanian Kabupaten Bantul), Bapak Lukito, S.Pkp,. (UPPT Imogiri), Bapak Suronto (Ketua Poktan Sriharjo) dan kepada Petani Jamur di UD Jamur Jaya. Hasil dari wawancara pada 4 pakar tersebut didapatkan data penyakit, data gejala, dan data penanganan penyakit jamur tiram putih.

Untuk pengembangan sistem pakar pada penelitian ini menggunakan metode Waterfall. Terdapat beberapa tahapan pada metode Waterfall, yaitu : Requirement Analysis, Design, Coding, Integration, dan Maintenance (Gambar 3).



Gambar 3. Metode Waterfall

Pada tahap analisis kebutuhan (requirement Analiysis) dilakukan pengumpulan seluruh informasi guna pengembangan perangkat lunak. Informasi-informasi tersebut berupa informasi kebutuhan perangkat keras dan lunak serta kebutuhan dari pengguna. Hasil dari tahap analisis kebutuhan ditindaklanjuti pada tahap selanjutnya, yaitu tahap design.

Pada tahap design adalah tahap pembuatan prototype dari perangkat lunak sistem pakar untuk jamur tiram putih. Hasil dari tahap design ini kemudian dilanjutkan pada tahap selanjutnya, yaitu tahap coding. Tahap coding adalah salah satu tahap dalam penelitian dimana dilakukan penuangan prototype hasil dari tahap design pada Bahasa pemrograman yang dipilih. Tahap selanjutnya adalah tahap integration, pada tahap ini dilakukan integrase sumberdaya dan dilakukan pengujian terhadap sistem yang diusulkan. Dan tahap terakhir dari metode waterfall adalah maintenance. Pada tahap maintenance dilakukan proses instalasi dan pemeliharaan perangkat lunak.

4. Hasil dan Pembahasan

a. Akuisisi pengetahuan pakar

Hasil dari proses wawancara dengan 4 pakar jamur tiram putih didapatkan data jenis penyakit, gejala penyakit dan penanganan penyakit. Untuk jenis penyakit pada jamur tiram ada 8 penyakit. Tabel 1 dibawah adalah tabel penyakit jamur tiram putih.

Tabel 2. Tabel Jenis Penyakit

Kode Hama dan Penyakit	Nama Hama dan Penyakit
P1	Bercak kuning
P2	Cendawan hijau
P3	Mucor spp
P4	Penicillium spp
P5	Neurospora spp
P6	Virus
P7	Bacterium carotovorum
P8	Aspergillus spp

Adapun untuk gejala dari penyakit jamur tiram putih sebanyak 18 gejala penyakit. Data gejala penyakit jamur tiram putih disajikan pada tabel 3 dibawah ini

Tabel 3 Tabel Gejala Penyakit Jamur Tiram Putih

Kode Gejala	Nama Gejala	Nilai CF Pakar
G01	Muncul bercak	0.6
G02	Bercak berwarna kuning	1.0
G03	Busuk	0.6
G05	Muncul flek hijau	1.0
G06	Terjadi kontaminasi dibagian media baglog	0.6
G07	Munculnya benjolan mirip kacang hijau berwarna hitam	0.6
G08	Bercak berwarna coklat	0.6
G09	Menghasilkan tepung Orange	0.8
G10	Pertumbuhan tubuh tidak normal	0.8
G11	Tangkai tumbuh memanjang	0.6
G12	Tudung tidak tampak mekar	0.6
G13	Terjadi dibagian tudung	0.4
G14	Berwarna hijau seperti lumut	1.0
G15	Jika dipegang terasa seperti lender	0.6
G16	Terdapat bitnik kuning	0.8
G17	Lama kelamaan bitnik menjadi coklat	0.8
G18	Lama kelamaan menjadi hitam	0.6

Dan untuk jawaban dari pengguna akan dilakukan pembobotan. Tabel 4 dibawah ini adalah tabel pembobotan jawaban dari pengguna aplikasi

Tabel 4. Tabel bobot Keyakinan

Jawaban User	Bobot
Tidak Yakin	0
Tidak tahu	0.2
Sedikit yakin	0.4
Cukup yakin	0.6
Yakin	0.8
Sangat yakin	1

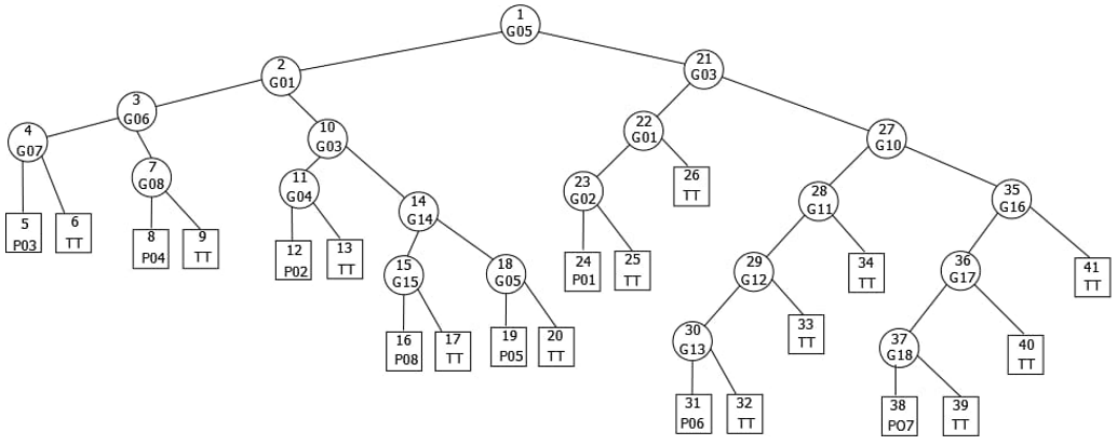
Dari tabel 2 dan 3 dibuatlah tabel keputusan untuk sistem pakar jamur tiram putih. Tabel 5 dibawah ini adalah tabel keputusan dari sistem pakar jamur tiram putih

Tabel 5. Tabel Keputusan

Kode Gejala	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G01	√		√	√				
G02	√							
G03	√	√						

G05		√	√	√	√			
G06			√					√
G07			√					
G08				√				
G09					√			
G10						√		
G11						√		
G12						√		
G13						√		
G14								√
G15								√
G16							√	
G17							√	
G18							√	

Setelah terbentuk tabel keputusan, selanjutnya dibuat pohon keputusan untuk sistem pakar jamur tiram putih (Gambar 4)



Gambar 4. Gambar Pohon Keputusan Sistem Pakar

Sistem yang yang diusulkan menggunakan forward chaining dan rule untuk sistem pakar disajikan pada tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6 Tabel Rule Sistem Pakar Jamur Tiram Putih

Kode Rule	Rule
Rule 1	IF G1 AND G2 AND G3 THEN P1
Rule 2	IF G3 AND G4 AND G5 THEN P2
Rule 3	IF G1 AND G5 AND G6 AND G7 THEN P3
Rule 4	IF G1 AND G5 AND G8THEN P4
Rule 5	IF G5 AND G9 THEN P5
Rule 6	IF G10 AND G11 AND G12 AND G13 THEN P6
Rule 7	IF G16 AND G17 AND G18 THEN P7
Rule 8	IF G05 AND G14 AND G15 THEN P8

b. Implementasi Certainty Factor dan Forward Chaining

Berikut ini adalah contoh implementasi perhitungan dari dari metode Certainty Factor dan Forward Chaining pada penyakit bercak kuning (P1) dengan jawaban dari pengguna seperti yang ditunjukan ditabel 7 dibawah..

Tabel 7 Tabel Jawaban Pengguna

Gejala	Jawaban pengguna
Muncul bercak (G01)	Tidak tahu
Bercak berwarna kuning (G02)	Sedikit yakin
Busuk (G03)	Tidak Yakin

Dari jawaban pengguna pada pertanyaan sistem pakar jamur tiram putih diatas, selanjutnya diuraikan. Untuk setiap pertanyaan sistem dilihat nilai CF pakar (tabel 3) dan jawaban dari pengguna dilihat bobot jawaban (tabel 4). Sehingga detilnya disajikan pada tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Tabel Detil Jawaban Pengguna

Gejala	Nilai CF pakar	Jawaban pengguna	Bobot Keyakian Pengguna
Muncul bercak (G01)	0.6	Tidak tahu	0.2
Bercak berwarna kuning (G02)	1.0	Sedikit yakin	0.4
Busuk (G03)	0.6	Tidak Yakin	0

Setelah nilai CF dan bobot pengguna didapatkan selanjutnya dilakukan perhitungan Certainty Factor dengan menggunakan rumus 1,2, dan 3. Untuk detil perhitungan Certainty Factor adalah :

$$CF(H,E)_1 = CF[H]_1 * CF[E]_1 = 0.6 * 0.2 = 0.12$$

$$CF(H,E)_3 = CF[H]_3 * CF[E]_3 = 0.6 * 0 = 0$$

$$CF(H,E)_2 = CF[H]_2 * CF[E]_2 = 1.0 * 0.4 = 0.4$$

$$CF_{combine}\ CF[H,E]_{1,2} = CF[H,E]_1 + CF[H,E]_2 * (1- CF[H,E]_1)$$
$$= 0.16 + 0.4*(1-0.16)$$
$$= 0.16 + 0.4 * 0.84$$
$$= 0.16 + 0.336$$
$$= 0.496$$

$$CF_{combine}\ CF[H,E]_{old,3} = CF[H,E]_{old} + CF[H,E]_3 * (1- CF[H,E]_{old})$$
$$= 0.496 + 0*(1-0.496)$$
$$= 0.496 + 0* 0. 504$$
$$= 0.496 + 0$$
$$= 0.496_{old2}$$

$CF[H,E]_{old2} * 100\% \quad = \quad 0.496*100\%$

$\quad = \quad 49,6\%$

Dari hasil perhitungan metode yang dipilih pada penelitian dapat diberikan kesimpulan mungkin bercak kuning.

c. Aplikasi sistem pakar

Pada aplikasi yang dibangun secara umum terdapat 2 menu utama, yaiut : menu pengguna dan menu administrator. Menu pengguna digunakan untuk melakukan konsultasi. Pengguna dalam melakukan konsultasi dengan cara cara memilih gejala penyakit dan bobot dari gejala penyakit (Gambar 5).

Gambar 5. Gambar Menu Konsultasi

Setelah pengguna mengisikan gejala penyakit dan bobot dari gejala, sistem akan melakukan perhitungan dan hasil perhitungan ditampilkan pada halaman hasil konsultasi (Gambar 6).

Gambar 6. Gambar Halaman Hasil Konsultasi Pengguna

Menu utama selain dari menu pengguna adalah menu administrator. Menu administrator adalah menu digunakan oleh admin untuk melakukan update data pengetahuan pakar. Pada aplikasi yang dibangun terdapat beberapa halaman yang digunakan administrator untuk melakukan update data pengetahuan pakar. Halaman tersebut adalah halaman penyakit, halaman gejala, halaman penanganan, dan halaman record konsultasi.

Halaman penyakit adalah halaman yang digunakan oleh administrator atau pakar untuk melakukan update data penyakit jamur tiram (Gambar 7)

Gambar 7. Halaman Penyakit Jamur Tiram Putih

Halaman gejala adalah halaman yang digunakan oleh administrator atau pakar untuk melakukan update data gejala penyakit jamur tiram (Gambar 8).

Gambar 8. Gambar Halaman Gejala Penyakit Jamur Tiram

Halaman penanganan adalah halaman yang digunakan oleh administrator untuk melakukan update data penanganan penyakit jamur tiram putih (Gambar 9)

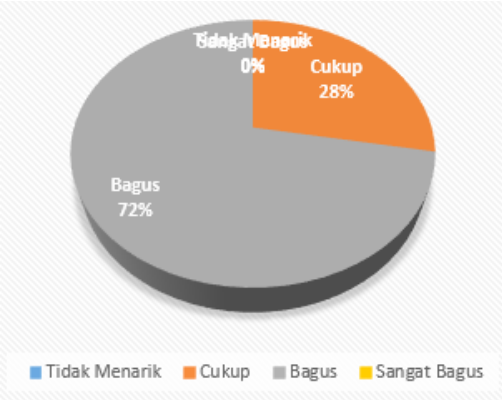
Gambar 9. Gambar halaman Penanganan Penyakit Jamur Tiram Putih

Halaman record konsultasi adalah halaman yang digunakan oleh administrator untuk melihat data konsultasi pengguna (Gambar 10).

Gambar 10. Gambar Halaman Record Konsultasi

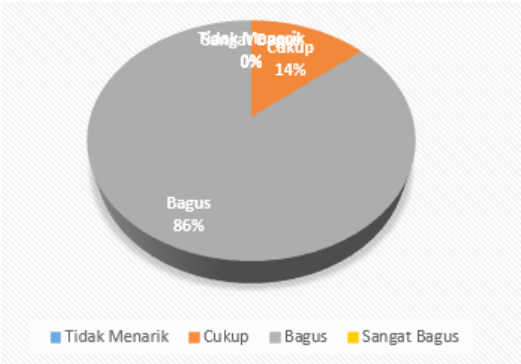
d. Pengujian

Pada pengujian yang telah dilakukan dinilai oleh 43 orang termasuk 4 pakar yang merupakan narasumber dari data penelitian. Secara umum pengujian yang dilakukan mengenai interface, kemudahan, dan akurasi dari sistem. Untuk interface program 12 responden memberikan nilai cukup dan 31 pakar memberikan bagus (gambar 11).



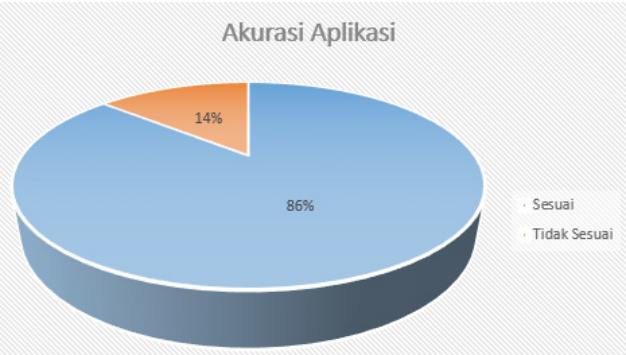
Gambar 11. Gambar Pengujian Antarmuka Aplikasi

Untuk kemudahan (userfriendly dan fungsionalitas) aplikasi 37 orang menjawab bagus dan 6 orang menjawab cukup.



Gambar 12. Gambar Hasil Pengujian Kemudahan Aplikasi

Untuk pengujian akurasi sistem dilakukan pada 4 pakar yang merupakan sumber data penelitian. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 400 data latih. Didapatkan hasil 345 sesuai dengan data latih dan 55 tidak sesuai (Gambar 12).



Gambar 13. Gambar Pengujian Akurasi Aplikasi

Kesimpulan

Dari hasil pengujian menunjukan prosentase interface aplikasi 72% untuk nilai bagus. Sedangkan untuk kemudahan aplikasi 86% dan untuk akurasi sistem 86%. Angka-angka tersebut membuktikan sistem yang diusulkan sudah sesuai dengan harapan dan masuk kategori bagus.

Daftar Pustaka

[1] S. Egra, I. W. Kusuma, and E. T. Arung, "KANDUNGAN ANTIOKSIDAN PADA JAMUR TIRAM PUTIH (Pleurotus ostreatus)," ULIN J. Hutan Trop., vol. 2, no. 2, pp. 105–108, 2018, doi: 10.32522/u-jht.v2i2.1549.

[2] R. Rosmiah, I. S. Aminah, H. Hawalid, and D. Dasir, "BUDIDAYA JAMUR TIRAM PUTIH (Pluoretus ostreatus) SEBAGAI UPAYA PERBAIKAN GIZI DAN MENINGKATKAN PENDAPATAN KELUARGA," Altifani Int. J. Community Engagem., vol. 1, no. 1, pp. 31–35, 2020, doi: 10.32502/altifani.v1i1.3008.

[3] M. S. Yustika and P. R. ayu Sangging, "Potensi Jamur Tiram Putih (Pleurotus ostreatus) sebagai Hepatoprotektor," MEDULA, vol. 9, no. 3, pp. 501–508, 2019.

[4] S. Susilawati and E. Syahnaz, "Peningkatan Daya Saing Melalui Strategi Pemasaran Jamur Tiram Putih (Studi Kasus) Di Desa Bekut," J. Soc. Econ. Agric., vol. 9, no. 2, pp. 113–120, 2020, doi: 10.26418/j.sea.v9i2.41842.

[5] J. Sah, "Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Permintaan Jamur Tiram (Pleorotus Ostreatus) (Studi Kasus Pasar Bakaran Batu Kecamatan Lubuk Pakam)," 2019.

[6] A. R. Hakim, S. Jauhari, and M. Husni, "Sosialisasi Dan Pelatihan Budidaya Jamur Tiram Putih," J. Dimaswadi, vol. 1, no. 1, pp. 16–20, 2020.

[7] A. R. Zikri, S. Khaswarina, and E. Maharani, "Analisis Usaha Dan Pemasaran Jamur Tiram Putih (Pleurotus Ostreatus) Studi Kasus Di Kelurahan Tangkerang Timur Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru," J. Online Mhs., vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2015, [Online]. Available: www.jcst.icrc.ac.ir

[8] D. S. Tanjung, L. A. Sasongko, and S. N. Awami, "Analisis Usaha Budidaya dan Pemasaran Jamur Tiram Putih (Pleurotus ostreatus) Di Kecamatan Ngaliyan Kota Semarang," J. Agrica, vol. 11, no. 1, pp. 15–27, 2018, doi: 10.31289/agrica.v11i1.1212.g1604.

[9] E. Djuwendah and E. Septiarini, "Manajemen Risikousahatani Jamur Tiram Putih (Plerotus Astreotus) Dalam Upaya Mempertahankan Pendapatan Petani," Paspalum J. Ilm. Pertan., vol. 4, no. 2, p. 11, 2017, doi: 10.35138/paspalum.v4i2.26.

[10] L. A. Hafiz, E. Ernawati, and D. Andreswari, "Tulang Berbasis Web Menggunakan," Rekursif, vol. 6, no. 1, pp. 105–114, 2018, doi: https://doi.org/10.33369/rekursif.v6i1.4270.

[11] R. Rayuwati, "Desain Perancangan Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Saluran Pernapasan Berbasis Web," Pixel J. Ilm. Komput. Graf., vol. 14, no. 2, pp. 242–252, 2021, doi: 10.51903/pixel.v14i2.205.

ANALISIS PERFORMA *RUNWAY* PADA BANDAR UDARA TANJUNG API AMPANA DENGAN METODE ACN-PCN

Sarah Safira Khalid Himran[1], Sri Mulyani[2], Fajar Khanif R[3]
[123]Teknik Dirgantara,Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta
sarahshafirahimran1111@gmail.com[1], srimulyani042@gmail.com[2], fajar.khanif@gmail.com[2]

Abstract

Tanjung Api Ampana Airport is an airport with a sufficient level of service for the flow of passengers and goods used for flights to various areas in the city of Ampana - Palu - Makassar. With the dense flight operational needs, the allowable aircraft load capacity and the strength of the runway in accepting the loading of aircraft during takeoff and landing. So this research is focused on the analysis of the operational weight of the aircraft against the strength capability of the runway at Tanjung Api Ampana Airport using the ACN – PCN calculation. The methods used are the ACN-PCN method and the ARFL method. The results show the relationship between aircraft take-off weight, PCN, and runway length. In the analysis of the maximum operational weight that is limited by PCN, it obtains the maximum value allowed at the airport with runway strength limitations according to the type and type of aircraft. The results of the runway strength analysis obtained on all types and types of aircraft according to operational flights at Tanjung Api Ampana Airport can use the maximum take-off mass values that have been determined in the Jeppesen ACN Table. And based on the analysis, the runway length for ATR 500, CESSNA 208, and HERCULES C-130 aircraft can be served by Tanjung Api Ampana Airport with the runway length. So that these types of aircraft can take off and land safely.

Keywords: *Runway, ACN-PCN, ARFL*

1. Pengantar

Bandar Udara Tanjung Api diresmikan pada tahun 2014 dan mulai beroperasi tahun 2016 (Dirjen PU Bandara Tanjung Api Ampana, Agustus 2016). Bandar Udara Tanjung Api merupakan bandara yang cukup tingkat pelayanan terhadap arus penumpang dan barang yang digunakan untuk penerbangan ke berbagai wilayah di kota Ampana – Palu – Makasar. Landas pacu (*runway*) di Bandara Tanjung Api Ampana mempunyai 2110 m x 30 m(63300 m^2). Kemampuan landas pacu (*runway*) Bandara Tanjung Api Ampana dapat didarati pesawat *Boeing* 737 *series* dan 2 pesawat *type* ATR.

Aircraft Classification Number (ACN) merupakan suatu nilai yang menunjukkan efek relatif sebuah pesawat udara di atas *pavement* untuk kategori *sub-grade* standar yang ditentukan. Nilai ACN dipublikasikan dalam 2 (dua) kategori perkerasan yaitu lentur dan kaku pada kategori daya dukung lapisan *sub-grade* tertentu seperti ditampilkan dalam, serta kondisi beban maksimum dan beban minimum pesawat. Pada umumnya, nilai ACN untuk semua jenis pesawat (pesawat sipil) diterbitkan oleh pabrik pembuat pesawat.

Pavement Classification Number (PCN) merupakan suatu angka yang menjelaskan daya dukung perkerasan untuk operasi tak terbatas pesawat udara dengan nilai ACN kurang dari atau sama dengan PCN. Jika nilai ACN dan tekanan roda pesawat lebih besar dari nilai PCN pada kategori *sub-grade* tertentu yang dipublikasikan, maka operasi pesawat udara tidak dapat diberikan ijin beroperasi kecuali dengan mengurangi beban operasi.

ARFL merupakan panjang minimal untuk *runway* yang diperlukan untuk pesawat dapat melakukan *take-off* dan akan menentukan tingkat keamanan pesawat terbang yang melakukan *take-off*.

1. Metodologi Penelitian

Beberapa metode Penelitian, antara lain:

a. Studi Pustaka

Data yang diperoleh dengan cara mempelajari bahan-bahan yang tertulis, data tersebut dapat berupa buku panduan, brosur, dokumen-dokumen serta bahan-bahan yang berkaitan dengan masalah yang sedang diteliti.

b. Wawancara

Merupakan teknik pengumpulan data dengan cara bertanya atau mewawancarai orang-orang yang berkompeten dalam penyusunan skripsi ini atau kepada pihak-pihak yang berhubungan dengan objek penelitian. Data yang diperoleh meliputi informasi terkini dari objek penelitian. Adapun data yang diperoleh dari wawancara adalah data situasi kinerja, kondisi eksisting dan data teknis di Bandar Udara Tanjung Api Ampana.

c. Literatur

Metode yang digunakan penulis dengan cara mengambil data dan referensi teori yang relevan dengan kasus penelitian yang diangkat penulis menggunakan berbagai sumber dari buku, jurnal-jurnal, situs di internet, dan artikel laporan penelitian orang lain. Tujuan menggunakan metode ini yaitu untuk memperkuat permasalahan dan menjadi dasar teori dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.

Agar penelitian ini dapat menghasilkan hasil yang sesuai, maka pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Analisa Kekuatan *Runway* Terhadap Pembebanan Berat Pesawat Dengan Perhitungan PCN Metode Klasik

Langkah perhitungan PCN Metode Klasik yaitu dengan menghitung *ekuivalen annual departure* pesawat kritis. Ketika pesawat yang beroperasi di suatu bandar udara terdiri dari berbagai jenis pesawat dengan berbagai tipe roda pendaratan (*landing gear*) dan berbagai variasi beban, efek pesawat tersebut terhadap perkerasan dihitung berdasarkan pesawat terkritis atau dalam desain pesawat desain. Perhitungan *ekuivalen annual departure* dilakukan dengan mengkonversi *landing gear* semua pesawat yang beroperasi ke pesawat kritis.

a. Analisa muat pesawat yang didasarkan oleh PCN runway dengan perhitungan kapasitas muat maksimum.
b. Menganalisa muatan pesawat dengan mengolah data muatan penerbangan di Bandar Udara Tanjung Api Ampana.

b. Metode *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL)

Aeroplane Reference Field Length (ARFL) adalah panjang landasan minimum yang diperlukan untuk lepas landas suatu pesawat terbang dengan ketentuan yang ada, setiap jenis pesawat terbang mempunyai ARFL sendiri yang tercantum dalam manual yang dibuat oleh pabrik yang memproduksi pesawat tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian dilakukan pada UPT Ditjen Hubud Bandar Udara Tanjung Api Ampana Sulawesi Tengah dengan kode IATA *(International Air Transport Association*) OJU dank ode ICAO (*International Civil Aviation Organization*) WAFU. Pengumpulan data dilakukan baik dengan cara pengamatan langsung tentang pergerakan pesawat yang beroperasi di bandara maupun didapatkan data dan wawancara kepada petugas atau orang-orang yang dianggap berkompeten memberikan informasi yang layak digunakan dalam penelitian ini.

a. Perhitungan ACN-PCN

Dalam Perhitungan nilai *Maximum Operational Aircraft Weight* didapatkan data-data sebagai berikut:

Jenis Pesawat	: ATR 72 500
Maximum Takeoff Mass	: 21530 kg
Empty mass	: 12200 kg
ACN *max*	: 15
ACN *empty*	: 8

Nilai *actual mass* sebagai nilai berat *maximum operational* pesawat yang dibatasi oleh PCN. Nilai actual mass didapatkan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$ACN = ACN_{max} - \left(\frac{Max.Takeoff\ Mass - Actual\ Mass}{Max.Takeoff\ Mass - Empty\ Mass}\right)\left(\frac{Max.Takeoff\ Mass - Actual\ Mass}{Max.Takeoff\ Mass - Empty\ Mass}\right) x\ (ACN_{max} - ACN_{empty})$$

$$34 = 15 - \left(\frac{21530 - n}{21530 - 12200}\right)\left(\frac{21530 - n}{21530 - 12200}\right) x\ (15 - 8)$$

$$34 - 15 = - \left(\frac{21530 - n}{21530 - 12200}\right)\left(\frac{21530 - n}{21530 - 12200}\right) x\ 7$$

$$\frac{19}{7}\frac{19}{7} = - \left(\frac{-21530 + n}{9330}\right)\left(\frac{-21530 + n}{9330}\right)$$

$$19\ x\ 9330 = 7\ x\ (-7840 + n)$$

$$177270 = -548800 + 7\ n$$

$$177270 + 548800 = 7\ n$$

$$\frac{726070}{7} = n$$

n = 103724,2057 kg dibulatkan menjadi 103724 kg

Sehingga didapatkan:

1) Nilai *Actual Mass* yang dibatasi oleh PCN = 103724 kg
2) Nilai *Maximum Takeoff Mass* = 21530 kg

(Tabel 4.2 Nilai ACN Pesawat)

Dari hasil analisa yang dilakukan peneliti berdasarkan jenis dan tipe pesawat di atas dengan dibatasi nilai PCN runway didapatkan *nilai actual mass* sebesar 103724 kg. Sehingga dapat di simpulkan bahwa untuk pesawat ATR 72 500 dalam operasional penerbangan di Bandara Tanjung Api Ampana dapat menggunakan nilai *maximum takeoff mass* sesuai dengan karakteristik pabrikasi tipe dan jenis pesawatnya.

Maka batasan o*perational weight* pesawat ATR 72 500 untuk menentukan kapasitas muat pesawat yang diijinkan adalah *maximum takeoff mass* sebesar 21530 kg.

Tabel 1. Berat maksimum berat pesawat

Aircraft Type	Max. Takeoff Mass	Empty Mass	ACN Max	ACN Empty	Actual Mass Dibatasi PCN	Max Takeoff Dibatasi PCN	Max Operational Aircraft Weight
	Kg	Kg			Kg	Kg	Kg
CESSNA 208	3670	1835	4	4	58720	3670	3670
HERCULES C-130	79333	36709	42	18	64125	79333	79333

Hasil dari analisa Perhitungan Berat Maksimum Operasional Pesawat (*Maximum Operational Aircraft Weight*) yang dibatasi oleh kemampuan Kekerasan Landasan (PCN) disimpulkan bahwa berdasarkan jenis dan tipe pesawat yang beroprasi di Bandar Udara Tanjung Api Ampana dapat menggunakan nilai *maximum takeoff mass* sesuai dengan karakteristik pabrikasi tipe dan jenis pesawatnya masing-masing.

b. Perhitungan Kapasitas Muat Berdasarkan Berat Operasional

Perhitungan kapasitas muat untuk masing-masing pesawat dilakukan dengan alur perhitungan dibawah ini.

Data penerbangan sebagai berikut:

Jenis Pesawat : ATR 72 500
Rute Penerbangan : Ampana (OJU) – Makassar (UPG)
Dry Operating Weight : 13648 kg
Takeoff Fuel : 1800 kg
Trip Fuel : 332 kg
Maximum Takeoff Weight (MTOW) : 22500 kg
Maximum Zero Fuel Weight (MZFW) : 20500 kg
Maximum Landing Weight (MLDW) : 21850 kg

Data penerbangan tersebut dimasukkan dalam alur perhitungan dengan urutan langkah-langkah berikut:

Allowed Weight for Takeoff = *Maximum Takeoff Weight*
= 22500 kg
Allowed Weight for Zero Fuel = *Maximum Zero Fuel Weight + Takeoff Fuel*
= 20500 + 1800
= 22300 kg
Allowed Weight for Landing = *Maximum Landing Weight + Trip fuel*
= 21850 + 332
= 22182 kg

Nilai terkecil dari ketiga *Allowed Weight for* (MTOW, MZFW dan MLDW) adalah *Allowed Weight for Landing* (MLDW) sebesar 22182 kg.

Operating Weight = *Dry Operating Weight + Takeoff Fuel*
= 13648 + 1800
= 15448 kg

Kapasitas muat pesawat atau *Allowed Load* didapatkan dengan cara, nilai terkecil dari *Allowed Weight for* (MTOW, MZFW dan MLDW) didapatkan nilai terkecil pada *Allowed Weight for Landing* (MLDW) yaitu sebesar 22182 kg , kemudian nilai tersebut dikurangi nilai *Operating Weight*.

Maka : *Allowed Load* = *Allowed Weight – Operating Weight*
= 22182 − 15448
= 6734 kg

Tabel 2. MTOW pesawat

Aircraft Type	DOW	DEST	Takeoff Fuel	Trip Fuel	MTOW	MZFW	MLDW
	Kg						
CESSNA 208	2143	PLW	183	67	3629	3538	3538
HERCULES C-130	40584	PLW	2090	679	70300	6267	63407

Tabel 3. Dry operating weight

Aircraft Type	Allowed for T/O	Allowed for Z/F	Allowed for L/D	Lowest Allowed	OW	Allowed Load	Allowed for T/O
	Kg						
CESSNA 208	3629	3721	3605	3605	2326	1279	3629
HERCULES C-130	70300	64764	64086	64086	42674	21412	70300

Hasil analisa dari perhitungan kapasitas operasional pesawat berdasarkan data yang peroleh diantaranya *Dry Operating Weight, Aircraft Structure Weight* dan bahan bakar yang di angkut dalam misi terbangnya sehingga didapatkan nilai *Allowed load* sesuai dengan jenis, tipe dan rute pesawatnya. Nilai *allowed load* ini digunakan sebagai acuan untuk nilai maksimum kapasitas muatan penerbangan. Nilai *Allowed load* yang didapatkan sesuai dengan jenis, tipe dan rute pesawatnya digunakan sebagai acuan untuk nilai maksimum kapasitas muatan penerbangan. Dari data tersebut jika dibandingkan dengan data aktual yang diperoleh dari Bandar Udara Tanjung Api Ampana terlampir pada Lampiran V, yaitu berupa data pergerakan pesawat (*Flight Movement*), besar muatan penerbangan yang diangkut tidak melebihi nilai *allowed load* yang telah di analisa sesuai dengan tipe, jenis dan rute penerbangannya.

c. Perhitungan Panjang Runway Menggunakan Metode ARFL

Data kondisi lapangan yang dibutuhkan untuk perencanaan sebagai berikut :

Elevasi (*h*) : 104 ft atau 32,6 m
Temperature Referensi (*T*) : 32°C
Slope (*S*) : 1,5 %

Panjang *Runway* terkoreksi adalah ARFL pesawat kritis yang dikoreksi terhadap elevasi, *temperature*, dan *slope*.

1) Koreksi terhadap *temperature* (Ft)

$Ft = 1 + 0{,}001(T - (15 - 0{,}0065\ x\ h)$

$= 1 + 0{,}001(32 - (15 - 0{,}0065\ x\ 32{,}6)$

$Ft = 1{,}1721$

2) Koreksi terhadap elevasi (Fe)

$Fe = 1 + 0{,}007\ x\ \frac{h}{300}\frac{h}{300}$

$= 1 + 0{,}007\ x\ \frac{32{,}6}{300}\frac{32{,}6}{300}$

$Fe = 1{,}0076$

3) Koreksi terhadap kemiringan lintasan (Fs)

$Fs = 1 + 0{,}01\ x\ S$

$= 1 + 0{,}01\ x\ 1{,}5$

$Fs = 1{,}15$

Maka panjang landasan pacu atau *runway* berdasarkan koreksi terhadap elevasi, temperature dan koreksi terhadap kemiringan lintasan adalah:

$ARFL = \frac{Lr}{(Ft)(Fe)(Fs)}\frac{Lr}{(Ft)(Fe)(Fs)}$ Dimana, ARFL = *Aerodrome Reference Field Length*

Lr = Panjang landasan pacu yang dibutuhkan

ARFL unuk pesawat ATR 500 = 1220

$ARFL = \frac{Lr}{(Ft)(Fe)(Fs)}\frac{Lr}{(Ft)(Fe)(Fs)}$

$1220 = \frac{Lr}{(1{,}1721)(1{,}0076)(1{,}15)}\frac{Lr}{(1{,}1721)(1{,}0076)(1{,}15)}$

$Lr = 1220\ (1{,}1721)(1{,}0076)(1{,}15)$

$= 1.656{,}95$ m

Tabel 4. ARFL

Aircraft Type	ARFL	Lr
	m	
CESSNA 208	274	372,14
HERCULES C-130	1783	2.421,6

4. Kesimpulan

Nilai kekerasan landasan yang didapatkan dari analisa Perhitungan Berat *Maksimum Operasional Pesawat* (*Maximum Operational Aircraft Weight*) yang dibatasi oleh kemampuan nilai kekerasan landasan (PCN) dengan nilai PCN pada *runway* Bandara Tanjung Api Ampana yaitu 34 F/D/X/T, disimpulkan bahwa berdasarkan jenis dan tipe pesawat yang beroprasi di Bandara Tanjung Api dapat menggunakan nilai *maximum takeoff mass* sesuai dengan karakteristik pabrikasi tipe dan jenis pesawat dalam operasionalnya. Hasil dari analisa kapasitas muatan didapatkan nilai *allowed load* sesuai dengan jenis, tipe dan rute pesawatnya digunakan, nilai *allowed load* ini digunakan sebagai acuan untuk nilai maksimum kapasitas muatan penerbangan. Nilai *Allowed load* yang didapatkan sesuai dengan jenis, tipe dan rute

pesawatnya digunakan sebagai acuan untuk nilai maksimum kapasitas muatan penerbangan. Dari data tersebut jika dibandingkan dengan data aktual yang diperoleh dari Bandar Udara Tanjung Api Ampana terlampir pada Lampiran V, yaitu berupa data pergerakan pesawat (*Flight Movement*), besar muatan penerbangan yang diangkut tidak melebihi nilai *allowed load* yang telah di analisa sesuai dengan tipe, jenis dan rute penerbangannya. Bandara Tanjung Api Ampana memiliki panjang landasan pacu sebesar 2110 meter dan lebar 30 meter. Berdasarkan analisis, panjang *runway* untuk pesawat ATR 500 adalah 1.656 m, pesawat CESSNA 208 adalah 372,14 m, dan pesawat HERCULES C-130 adalah 2.421,6 m, dapat dilayani oleh Bandara Tanjung Api Ampana dengan panjang *runway* nya. Agar pesawat jenis tersebut dapat *take-off* dan *landing* dengan aman.

Daftar Pustaka

[1] *Airrcraft Classification Numbers* (ACN's) *AIRCRAFT CLASSIFICATION NUMBERS* (ACN's).

[2] R F Nanda, Tahun 2020. *Journal of Physics "Comparison of the Effectiveness and Efficiency on Cessna 208 with DHC 6-300 Twin Otter for Flights in Inland Papua*"

[3] D. Silberhorn, G. Atanasov, J-N. Walther & T. Zill, Tahun 2022. "*ASSESSMENT OF HYDROGEN FUEL TANK INTEGRATION AT AIRCRAFT LEVEL*".

[4] Nasri Ikhwan, Tahun 2021. Skripsi "EVALUASI PANJANG *RUNWAY* BANDAR UDARA PATIAMBANG GAYO LUES (Studi Kasus).

[5] *Airlines-inform.com/commercial-aircraft/atr-72*. (Diakses pada 15 Desember 2022).

[6] *Cessna.txtav.com/en/turboprop/caravan*. (Diakses pada 17 Desember 2022).

[7] Gladis Tiara Andan Dewi, Tahun 2022. Skripsi "PENGEMBANGAN PROGRAM ANALISIS PERFORMA LANDASAN DENGAN METODE ACN-PCN DAN METODE ARFL". Yogyakarta : Institut Teknologi Adisutjipto.

REKOMENDASI PERAWATAN KOMPONEN AIR CYCLE MACHINE (ACM) PADA PESAWAT B737-900ER

Berni Anisafitri[1], Fajar Khanif Rahmawati[2], Sri Mulyani[3]
Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta
bernianisafitri24@gmail.com, fajar.khanif@gmail.com, srimulyani042@gmail.com,

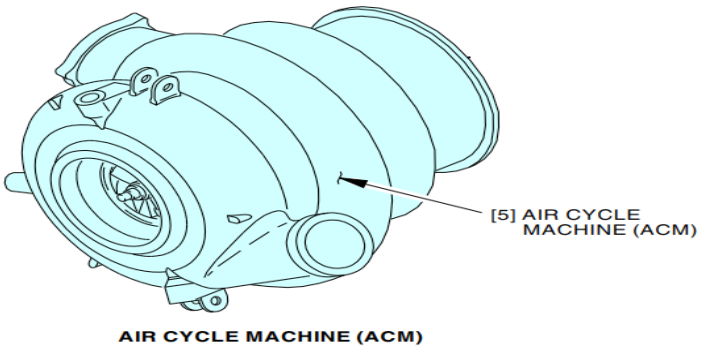
Abstract

*Analysis with the Weibull distribution method shows that the right treatment recommendations for treating*air cycle machine *(ACM) in the form of category preventive maintenance*time directed *(TD), due to category preventive maintenance*Time Directed *(TD) is a category of preventive maintenance that can be carried out if the time variable of a component or system is known and directly aims to prevent damage.*

Keywords: *Recommendation, Maintenance, weibull*

1. Pengantar

Komponen *Air Cycle Machine* (ACM) merupakan komponen yang penting dalam *air conditioning system*. ACM digunakan untuk proses kompresi dan ekspansi udara yang mengalir untuk memfasilitasi mesin pendingin udara, ACM menghasilkan udara precooled menengah untuk memfasilitasi ekstraksi udara pada tekanan tinggi dengan menggunakan tenaga mesin yang dihasilkan oleh turbin. Ketika terjadi penurunan kemampuan fungsi komponen ini, Suhu akan meningkat dan aliran udara dalam pesawat terbang akan berkurang, sehingga jika komponen ini mengalami kerusakan maka akan berakibat terganggunya kenyamanan penumpang. Hal ini menimbulkan kerugian yang besar bagi perusahaan maskapai penerbangan maupun bagi pelanggan.



Gambar 1. *Air Cycle Machine* (ACM)

Perawatan dilakukan untuk mempertahankan kondisi laik udara. Perawatan dilakukan untuk menjaga kondisi pesawat (sebagai tindakan preventif) dan upaya mengembalikan ke kondisi semula setelah mengalami kerusakan (tindakan korektif).

Pada dasarnya perawatan dilakukan agar reliabilitas komponen terjaga. Reliabilitas adalah kemampuan suatu peralatan untuk tidak rusak selama operasi. Jika suatu peralatan bekerja baik dan bekerja bilamana diperlukan untuk melakukan pekerjaan sesuai dengan rancangannya, peralatan tersebut dikatakan dapat diandalkan.

2. Metodologi Penelitian

a. Pengamatan Data

Langkah awal penelitian ini adalah pengamatan terhadap data *unschedule removel* ACM pesawat B737-900ER yang diberikan oleh Batam Aero Tecnic. Data tersebut dari bulan Januari 2020 hingga September 2022. Dari priode tahun yang diteliti didapat 22 kasus *unshedule removel* komponen ACM

b. Studi Pustaka

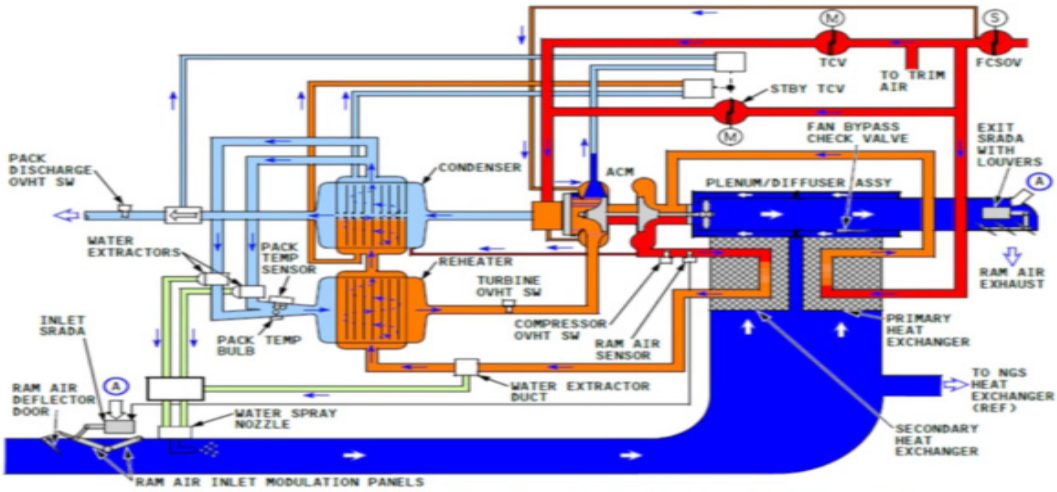
Pengumpulan data menggunakan metode ini dilakukan dengan mengambil data yang bersumber dari literature seperti perpustakaan, *e-book* dari media internet, *Aircraft Maintenance Manual* (AMM) ATA 21-51-04 *air cycle machine* serta buku panduan lainnya yang mendukung penelitian ini.

c. Personal interview

Pengumpulan data menggunakan metode ini dilakukan dengan berdialog dengan pihak yang berpengalaman dan berkompeten dibidangnnya. Pada dasarnya metode ini dilakukan untuk memperluas wawasan dalam menarik kesimpulan, dan sifat data dari wawancara ini hanya sebagai data sekunder.

d. Alur Proses Pengkondisian Udara

Pada gambar 2 dibawah ini memperlihatkan alur proses dari terbentuknya udara terkondisi oleh *air conditioning system* sebuah pesawat Boeing 737-900ER



Gambar 2. *Schematic Air Conditioning System*

Udara pneumatic yang digunakan dalam *air conditioning system* masuk melalui *flow control shut off valve* (FCSOV), ketika udara telah melewati FCSOV udara akan terbagi ke tiga bagian yaitu menuju *primary heat exchanger*, menuju *Temperature Control valve* (TCV) dan menuju ke *standby Temperature Control valve* (TCV). Udara yang mengarah ke *primary heat exchanger* adalah udara yang akan diturunkan temperaturnya atau udara yang akan di kondisikan. Sedangkan udara yang mengarah ke TCV dan ke *standby* TCV adalah udara yang digunakan untuk mentrim *out put* dari turbin ACM.

Setelah melalui *primary heat exchanger* udara akan masuk ke kompresor ACM, lalu udara akan dikompresikan sehingga mengalami kenaikan temperatur. Setelah melewati kompresor

ACM udara akan didinginkan kembali oleh *secondary heat exchanger*. Udara yang telah melewati *secondary heat exchanger* akan mengalami penurunan temperatur, lalu udara akan melewati *water extractor duct* disini udara akan disaring. Partikel air yang terkadung didalam udara akan dikumpulkan untuk *water spray nozzel* agar *colling* dari *ram inlet* semakin maksimal.

Setelah melewati *water extractor duct*, udara akan melalui *reheater. Reheater* berfungsi untuk menghangatkan udara agar udara yang masuk ke turbin ACM tidak terlalu dingin yang bisa menyebabkan pembekuan atau *icing*. Setelah melalui *reheater* udara akan masuk ke *condensor*, disini udara di kondensasikan menggunakan udara dingin *output* dari turbin ACM sehingga diharapkan partikel udara dengan air sudah benar-benar terpisah. Setelah melalui *condensor* udara akan masuk ke *water extractor*. Disini udara akan disaring kembali untuk memisahkan antara air dengan udara. Air akan dialirkan untuk *water spray nozzel* untuk membatu *cooling* dari *heat exchanger*.

Setelah air dan udara terpisah udara akan diarahkan kembali menuju *reheater* dan akan mengalir kembali ke turbin ACM. Pada turbin ini terjadi ekspansi sehingga menyebabkan lebih dingin. *Output* dari Turbin ACM ini digunakan untuk mengkondensasikan udara yang ada di *condensor*, dan di turbin ACM ini merupakan tempat masuknya udara panas yang berasal dari TCV dan *standbay* TCV agar *output* udara yang dikondisikan sesuai dengan yang diinginkan. Apabila terjadi perbedaan *pressure* akan dideteksi bahwa ada *icing* di *condensor*, jika ditemukan *icing* di *condensor standbay* TCV akan mengalirkan udara panas ke output turbin ACM sehingga diharapkan dapat memecahkan es maka tidak ada es yang memblok di *condensor*. Setelah udara melewati *condensor* udara akan mengalir ke *mix manifold*. Udara yang sudah keluar dari *pack air conditioning system* adalah udara yang telah terkondisikan sudah sesuai dengan yang diinginkan dan sudah sesuai dengan temperatur yang di setting di *cockpit* pesawat. Setelah keluar di *pack discharge* udara masuk ke *mix manifold* dan di distribusikan ke *cockpit*, untuk *cooling avionic compartment, avionic equipment*, komponen-komponen *elektronic*,untuk *pressurize* pesawat, dan kabin pesawat.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini merupakan data *unscedule removel* periode Januari 2020 sampai dengan September 2022.

Tabel 1. Data Unscedule Removel

No	Komponen	Time Failure (hours)
1	Air Cycle Machine	2093
2	Air Cycle Machine	8297
3	Air Cycle Machine	9185
4	Air Cycle Machine	16037
5	Air Cycle Machine	20836
6	Air Cycle Machine	22029
7	Air Cycle Machine	22504
8	Air Cycle Machine	22699
9	Air Cycle Machine	23029
10	Air Cycle Machine	23119
11	Air Cycle Machine	23733

12	Air Cycle Machine	24000
13	Air Cycle Machine	25031
14	Air Cycle Machine	26983
15	Air Cycle Machine	27823
16	Air Cycle Machine	28034
17	Air Cycle Machine	30943
18	Air Cycle Machine	31388
19	Air Cycle Machine	32753
20	Air Cycle Machine	33195
21	Air Cycle Machine	33338
22	Air Cycle Machine	34137

a. Perhitungan Median Rank

Tabel 2. Perhitungan *Median Rank Air Cycle Machine*

No	Time Failure (hours)	Median Rank
1	2093	0,0313
2	8297	0,0759
3	9185	0,1205
4	16037	0,1652
5	20836	0,2098
6	22029	0,2545
7	22504	0,2991
8	22699	0,3438
9	23029	0,3884
10	23119	0,4330
11	23733	0,4777
12	24000	0,5223
13	25031	0,5670
14	26983	0,6116
15	27823	0,6563
16	28034	0,7009
17	30943	0,7455
18	31388	0,7902
19	32753	0,8348
20	33195	0,8795
21	33338	0,9241
22	34137	0,9688

Berdasarkan hasil tabel perhitungan diatas nilai median rank naik seiring dengan bertambahnya *flight hours* dari pesawat.

b. Perhitungan variabel X dan Y

Tabel 4. Perhitungan Variabel X dan Y Pada Kegagalan *Air Cycle Machine*

No	Time Failure (hours)	Median Rank	X	Y	X.Y	X^2	Y^2
1	2093	0,0313	-3,4499	7,6464	-26,37918	11,90183	58,46673
2	8297	0,0759	-2,5392	9,0236	-22,91311	6,44768	81,42625
3	9185	0,1205	-2,0523	9,1253	-18,72768	4,21183	83,27159
4	16037	0,1652	-1,7118	9,6827	-16,57493	2,93032	93,75379
5	20836	0,2098	-1,4461	9,9444	-14,38025	2,09109	98,89184
6	22029	0,2545	-1,2254	10,0001	-12,25373	1,50150	100,00230
7	22504	0,2991	-1,0345	10,0214	-10,36730	1,07021	100,42943
8	22699	0,3438	-0,8646	10,0301	-8,67216	0,74756	100,60243
9	23029	0,3884	-0,7100	10,0445	-7,13117	0,50404	100,89217
10	23119	0,4330	-0,5666	10,0484	-5,69330	0,32102	100,97054
11	23733	0,4777	-0,4316	10,0746	-4,34816	0,18627	101,49800
12	24000	0,5223	-0,3027	10,0858	-3,05302	0,09163	101,72355
13	25031	0,5670	-0,1780	10,1279	-1,80285	0,03169	102,57376
14	26983	0,6116	-0,0558	10,2030	-0,56922	0,00311	104,10044
15	27823	0,6563	0,0656	10,2336	0,67172	0,00431	104,72694
16	28034	0,7009	0,1881	10,2412	1,92636	0,03538	104,88163
17	30943	0,7455	0,3138	10,3399	3,24450	0,09846	106,91358
18	31388	0,7902	0,4456	10,3542	4,61430	0,19860	107,20906
19	32753	0,8348	0,5882	10,3967	6,11528	0,34597	108,09241
20	33195	0,8795	0,7494	10,4102	7,80176	0,56166	108,37132
21	33338	0,9241	0,9472	10,4145	9,86438	0,89715	108,46083
22	34137	0,9688	1,2429	10,4381	12,97382	1,54486	108,95471

Berdasarkan data tabel 3 diatas, didapat hasil variable X dan Y maka dilakukan penjumlahan untuk perhitungan parameter selanjutnya. Penjumlahan yang dilakukan antara lain menghitung $\Sigma\Sigma x$, $\Sigma\Sigma y$, $\Sigma x.y$, Σx^2, dan Σy^2. Berikut tabel hasil penujumlahan yang dilakukan

Tabel 5. Tabel Hasil Penjumlahan Variabel X dan Y

Variabel X dan Y	Nilai
Σx	-12,0275
Σy	218,8866
$\Sigma x.y$	-105,65396
Σx^2	35,72619
Σy^2	2186,21329

Hasil penjumlahan variabel tabel 4 diatas dapat digunakan untuk mencari parameter lainnya yang digunakan dalam analisis weibull.

c. Perhitungan Nilai B

Dalam melakukan perhitungan nilai B digunakan nilai penjumlahan diatas untuk mengetahui nilai B, sehingga :

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi.yi - \frac{\sum_{i=1}^{n} xi\ .\ \sum_{i=1}^{n} yi}{n}}{\sum_{i=1}^{n} xi^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{n} xi)^2}{n}}$$

$$= \frac{-105{,}65396 - \frac{-12{,}0275.218{,}8866}{22}}{35{,}72619 - \frac{(-12{,}0275)^2}{22}} = 0{,}48069$$

Setelah dilakukan perhitungan terhadap nilai B didapat bahwa nilai B sebesar 0,48069.

d. Perhitungan Nilai A

Dalam menentukan nilai A digunakan nilai $\bar{Y}\bar{Y}$ dan nilai $\bar{X}\bar{X}$ dapat dicari menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma y}{n} = \frac{218{,}8866}{22} = 9{,}9494$$

dan

$$\bar{X} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{-12{,}0275}{22} = -0{,}5467$$

sehingga didapatkan :

$$A = \bar{Y} - B.\bar{X} = 9{,}9494 - (0{,}48069 - 0{,}5467) = 10{,}21219$$

Setelah dilakukan perhitungan terhadap nilai B didapat bahwa nilai A sebesar 10,21219.

e. Menentukan Nilai ββ dan ηη

β adalah shape parameter yang merupakan bentuk dari distribusi weibull. Nilai β dapat dicari menggunakan formula persamaan sebagai berikut :

$$\beta = \frac{1}{B} = \frac{1}{0{,}48069} = 2{,}08034$$

η atau scale parameter adalah usia karakteristik komponen yang mengalami *failure*. Formula dalam mencari nilai η yaitu, sebagai berikut:

$$\eta = e^A = 2{,}718281828^{10{,}21219} = 27233{,}06202\ hours$$

Dimana diketahui bilangan e adalah bilangan natural (EXP) yaitu 2,718281828

Maka, besar nilai β adalah 2,08034 nilai ini nantinya akan menentukan *failur mode* dari komponen *air cycle machine* dan besar nilai η adalah 27233,06202 hours, besar nilai η ini menunjukan umur komponen akan mengalami *failure.*

f. Perhitungan Nilai Koefisien Korelasi

Untuk mencari besarnya nilai koefisien korelasi "r" digunakan persamaan sebagai berikut, yaitu :

$$r = \frac{\sum x.y - \frac{\sum x.\sum y}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{\sum (x)^2}{n}\right)}\sqrt{\left(\sum y^2 - \frac{\sum (y)^2}{n}\right)}}$$

$$= \frac{-105{,}65396^{-\frac{-12{,}0275\ .\ 218{,}8866}{22}}}{\sqrt{\left(35{,}72619 - \frac{(-12{,}0275)^2}{22}\right)}\sqrt{\left(2186{,}21329 - \frac{(218{,}8866)^2}{22}\right)}}$$

$$= 0{,}89416$$

Maka, berdasarkan perhitungan diatas besar nilai koefisien korelasinya didapat sebesar 0,89416 artinya bahwa variabel X dan Y terdapat hubungan yang sangat kuat. hal ini menandakan bahwa data dan metode yang penulis gunakan sudah cocok dianalisis. Dibawah ini persamaan yang digunakan untuk mencari koefisien determinasinya

$$r^2 = (r)^2 \times 100\% = (0{,}89416)^2 \times 100\% = 79{,}951\%$$

Maka, didapat besar koefisien determinasinya adalah 79,951% artinya kontribusi X terhadap variasi Y sebesar 79,951%. Setelah melakukan perhitungan didapat beberapa hasil dari perhitungan parameter weibull yaitu seperti yang ditampilakn dalam tabel dibawah ini

Tabel 6. Hasil Perhitungan Parameter Weibull

Parameter Weibull	**Nilai**
B	0,48069
A	10,21219
Shape Parameter (***ββ***)	2,08034
Scale parameter (η)	27233,06202
Koefisien korelasi (r)	0,89416
Koefisien Determinasi (r^2)	79,951%

Setelah perhitungan parameter weibull dapat digunakan untuk menentukan besar nilai *cumulatif distribution function* (CDF), nilai keandalan (*reliability*), besar nilai *failur rate* dan menentukan *nilai mean time to filure* (MTTF) dari komponen *air cycle machine* pesawat Boeing 737-900ER

g. ***Perhitungan Nilai*** *Cumulative Distribution Function* ***(CDF)***

Dalam melakukan perhitungan *Cumulative Distribution function* (CDF) digunakan memasukan nilai β dan η, maka akan diperoleh *Cumulatif Distribution Function* (CDF) *air cycle machine* pada *air conditioning system* pesawat Boeing 737-900ER. Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai CDF untuk data 2000 hours.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} = 1 - 2{,}718281828^{\left(\frac{2000}{27233{,}06202}\right)^{2{,}08034}} = 0{,}00436$$

Berikut dibawah ini merupakan tabel hasil perhitungan CDF *air cycle machine* pada *air conditioning system* Boeing 737-900ER dari 2000 *hours* 44000 *hours.*

Tabel 7. Perhitungan *Cumulatif Distribustion Function air cycle machine*

Time (Hours)	**F(t)**
2000	0,00436
4000	0,01832

6000	0,04208
8000	0,07523
10000	0,11698
12000	0,16623
14000	0,22161
16000	0,28161
18000	0,34464
20000	0,40911
22000	0,47351
24000	0,53644
26000	0,59671
28000	0,65336
30000	0,70565
32000	0,75309
34000	0,79541
36000	0,83256
38000	0,86465
40000	0,89194
42000	0,91480
44000	0,93366

h. Perhitungan Keandalan (Reliability)

Dalam mencari nilai keandalan *air cycle machine* digunakan persamaan $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} = 2{,}718281828^{-\left(\frac{2000}{27233{,}06202}\right)^{2{,}0808}} = 0{,}99564$ dalan untuk 2000 *hours.*

Di bawah ini merupakan hasil perhitungan nilai keandalan dari pemakaian *air cycle machine* pada *air conditioning system* Boeing 737-900ER dari 2000 hingga 44000 *hours.*

Tabel 8. Perhitungan nilai keandalan *Air Cycle Machine*

Time (Hours)	**R(t)**
2000	0,99564
4000	0,98168
6000	0,95792
8000	0,92477
10000	0,88302
12000	0,83377
14000	0,77839
16000	0,71839
18000	0,65536
20000	0,59089
22000	0,52649
24000	0,46356
26000	0,40329
28000	0,34664

30000	0,29435
32000	0,24691
34000	0,20459
36000	0,16744
38000	0,13535
40000	0,10806
42000	0,08520
44000	0,06634

i. Perhitungan Laju Kegagalan (Failure Rate)

Dalam melakukan perhitungan nilai laju kegagalan digunakan persamaan dengan memasukan nilai dari parameter β dan η maka nilai laju kegagalan dapat dicari. Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai *failure rate* untuk 2000 *hours.*

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{2{,}0803}{27233{,}06202} \cdot \left(\frac{2000}{27233{,}06202}\right)^{2{,}0803-1}$$
$$= 0{,}000005$$

Dibawah ini adalah tabel hasil perhitungan nilai laju kegagalan (*failure rate*) *air cycle machine* pada *air conditioning system* Boeing 737-900ER dari 2000 hingga 44000 *hours*

Tabel 9. Perhitungan laju kegagalan (*failure rate*) *Air Cycle Machine*

Time (Hours)	**λ(t)**
2000	0,000005
4000	0,000010
6000	0,000015
8000	0,000020
10000	0,000026
12000	0,000032
14000	0,000037
16000	0,000043
18000	0,000049
20000	0,000055
22000	0,000061
24000	0,000067
26000	0,000073
28000	0,000079
30000	0,000085
32000	0,000091
34000	0,000097
36000	0,000103
38000	0,000109
40 000	0,000116
42000	0,000122
44000	0,000128

j. Perhitungan Nilai Mean Time To Filure (MTTF)

MTTF berguna untuk menghitung rata-rata terjadi kegagalan atau rata-rata suatu komponen dapat berfungsi sampai mengalami kegagalan. Dalam mencari nilai MTTF digunakan persamaan sebagai berikut

$$MTTF = \eta \,.\Gamma$$

Nilai Γ dapat dilihat pada lampiran,dimana untuk menentukan nilai Γ terlebih dahulu harus mencari besar nilai (x) yaitu dengan persamaan berikut :

$$x = \left[1 + \frac{1}{\beta}\right] = \left[1 + \frac{1}{2{,}0803}\right] = 1{,}48$$

Dengan melihat tabel fungsi gamma pada lampiran maka diperoleh nilai Γ sebesar 0,88575

Maka nilai MTTF dapat dicari yaitu :

$$MTTF = 27233{,}06202 \;.0{,}88575 = 24121{,}6846 \; hours$$

$$MTTF = 27233{,}06202 \;.0{,}88575 = 24121{,}6846 \; hours$$

Besar nilai MTTF yang didapat menunjukan rata-rata *air cycle machine* pada *air conditioning system* pesawat Boeing 737-900ER bisa di operasikan dengan baik sampai mengalami kegagalan adalah sebesar 24121,6846 *hours*.

Berdasarkan data kerusakan air cycle machine pada air conditioning system pada pesawat Boeing 737-900ER yang sudah dilakukan pengolahan menggunakan distribusi weibull diperoleh rata-rata *air cycle machine* mengalami kegagalan pada saat pesawat sudah mencapai 24121,6846 hours pengoperasian dan untuk mengetahui efektivitas perawatan *air cycle machine* pesawat Boeing 737-900ER diperlukan parameter yang menunjukan jenis kegagalan yang terjadi pada pesawat tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan di dapatkan bahwa nilai β adalah 2,0803 jenis kegagalan yang terjadi berupa *implies wear out*, kegagalan ini ditandai dengan meningkatnya laju kegagalan (*increasing failure rate*) seiring dengan penggunaan pesawat yang semakin meningkat.

Jenis perawatan yang dianjurkan untuk jenis kerusakan ini adalah perawatan preventive kategori *Time Directed* (TD). Hal ini dilakukan karena sesuai dengan kerusakan yang ada, pada dasarnya perawatan kategori *Time Directed* dapat dilakukan apabila variabel waktu komponen diketahui dan secara langsung bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan dengan dilakukan secara berkala sampai peralatan tersebut tidak dapat diperbaiki kembali seperti semula.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapat besar nilai *Mean Time To Filure* (MTTF) yaitu 24121,6846 hours. Besarnya nilai yang didapat mengartikan rata-rata *air cycle machine air conditioning system* pesawat Boeing 737-900ER akan berfungsi sampai mengalami kegagalan hingga 24121,6846 *hours.* Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan nilai β adalah 2,08034 , maka termasuk dalam kategori β > 1 dimana jenis kegagalan yang terjadi adalah jenis *implies wear out*, kegagalan ini ditandai dengan meningkatnya laju kegagalan (*increasing failure rate*) seiring dengan penggunaan pesawat yang semakin meningkat. Adapun

jenis perawatan yang dianjurkan untuk jenis kerusakan ini adalah perawatan preventif kategori *Time Directed* (TD) dimana *Time directed* adalah kategori perawatan prefentive yang dapat dilakukan apabila variabel waktu dari komponen atau sistem diketahui dan secara langsung bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan.

Daftar Pustaka

[1] Abernethy, R. B. (1993). *The New Weibull.* 536 Oyster North Palm Beach, Florida: Robert B Abernethy.

[2] Subiyono, G. (2015). Sistem Operasional *Air Cycle Machine* Pada *Air Conditioning* Pesawat Boeing 737-Series. *Jurnal Teknika STTKD Vol.2, No. 1,*, 13-24.

[3] Imam Prasetyo. (2012). *Analisis Perawatan Turboprop Engine PT6A-25 Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM).* Yogyakarta: Skripsi, Teknik Penerbangan, STTA.

[4] Puspita Permatasari. (2016). *Optimasi Waktu Penggantian Komponen Air Cycle Machine (ACM) Pesawat Terbang CRJ-1000 Menggunakan Metode Geometric Process Studi Kasus Pada PT.Garuda Maintenance Facility (GMF) AeroAsia.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

IDENTIFIKASI KEGAGALAN PADA KOMPONEN PITOT PROBE BOEING 737-900ER

Cristhina[1], Sri Mulyani[2], Istyawan Priyahapsara[3]
[123]Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta
tinacampus2019@gmail.com, srimulyani042@gmail.com, istyawanpriyahapsara@gmail.com

Abstract

Based on Boeing 737-900ER unscheduled removal data of pitot probe 0851HT-1 January, 2020 to November, 2021 found 14 removal for pitot probe with one of the defect is "pitot light on". This indicate that there is a problem with the component and can disrupt the pilot and delay the aircraft. Knowing the result of failure identification and the type of failure be the aim of this research. Analysis using Failure Mode and Effect Analysis used to identify failure modes, causes and effects of failure, severity, occurrence, and detection ranking so that the risk priority number obtained. Based on the FMEA Worksheet, there are 8 failure modes that occur on the pitot probe with the highest Risk Priority Number is 126 on mode "IAS AND ALT DISAGREE".

Keywords: *FMEA, failure, pitot*

1. Pengantar

Pitot probe dengan *part number* 0851HT-1 merupakan komponen yang digunakan pada pesawat Boeing 737-900ER. Terdapat total 5 *pitot probe* yang terpasang untuk mendukung kerja sistem pesawat, yaitu 3 *pitot probe* untuk *static and total air pressure system* dan 2 *pitot probe* untuk *elevator and tab control system.*

Static and total air pressure system sendiri merupakan sistem yang berfungsi untuk mengukur tekanan udara dan menghitung parameter-parameter terbang seperti *airspeed* dan *altitude*. *Pitot probe* menjadi tempat masuknya udara untuk selanjutnya diukur tekanan udara yang disebut dengan tekanan udara pitot (*pitot air pressure*). Tekanan udara pitot ini dibutuhkan oleh *air data inertial reference unit* (ADIRU) untuk menghitung *airspeed* dan *Mach number*.

Berdasarkan data *removal pitot probe* 0851HT-1 Boeing 737-900ER milik PT X pada *static and total air pressure system* periode Januari 2020 hingga November 2021, ditemukan 14 kejadian *removal* pada komponen ini. Salah satu *defect* yang terjadi adalah "*pitot light on"*. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat masalah dengan komponen tersebut. Apabila terdapat masalah dengan komponen ini, dapat mengganggu kerja pilot bahkan menunda operasional pesawat hingga menyebabkan *delay*. Oleh karena itu, setiap kegagalan yang terjadi perlu dilakukan analisis agar dapat meminimalisir pengulangan kegagalan bahkan mencegah kerugian dimasa yang akan datang.

Analisis kegagalan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dapat digunakan untuk mengidentifikasi mode-mode kegagalan menggunakan parameter yang telah ditetapkan, dilanjutkan dengan perhitungan Angka Prioritas Risiko. Melalui tahapan tersebut dapat ditentukan tingkat kekritisan untuk setiap modus kegagalan, kemudian menentukan tindakan penanganan terhadap modus kegagalan yang kritis.

2. Metodologi Penelitian

Beberapa metode Penelitian, antara lain:

a. Pengamatan data dan identifikasi masalah

Penulis mengamati data kerusakan khususnya pada komponen *Pitot Probe* pesawat Boeing 737-900ER. Proses pengamatan data dilakukan dengan mengelompokkan masalah yang terdapat pada data *component unscheduled removal* pada pesawat Boeing 737-900ER.

b. Studi Pustaka

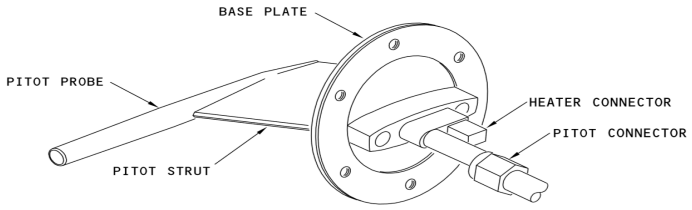
Studi pustaka dilakukan untuk menemukan penyelesaian dari permasalahan berupa referensi dari buku, jurnal dan artikel penelitian berkaitan dengan bidang yang diambil.

c. Wawancara

Wawancara dilakukan kepada mekanik dan *engineer* yang memiliki kemampuan dan menguasai masalah secara lisan mengenai hal yang berkaitan dengan permasalahan pada tugas akhir ini

c. Pitot Probe

Pitot probe berfungsi untuk mengukur tekanan udara *pitot*. *Pitot probe* menghadap kedepan untuk mengukur tekanan udara. Sebuah *strut* memisahkan *probe* beberapa inci dari *skin* pesawat untuk mengurangi efek turbulensi aliran udara. *Base plate* terdiri dari *electrical connector* dan *pressure connector.* Terdapat *anti-icing heater* pada *probe* untuk mencegah pembentukan es. *Heater* menempel dengan *electrical connector* pada *base plate*.



Gambar 1. *Pitot Probe*

Sumber: AMM Boeing 737-900ER

Pitot probe milik *captain* terletak disebelah kiri pesawat, sedangkan *pitot probe* milik *first officer* dan *aux pitot probe* terletak disebelah kanan pesawat. *Static and total air pressure system* berfungsi untuk mengukur tekanan udara *pitot* dan *static.* Tekanan-tekanan ini digunakan untuk menghitung parameter-parameter terbang seperti *airspeed* dan *altitude. Static and total air pressure system* mendapatkan *input* tekanan udara dari *pitot probe* dan *static port* yang terletak pada bagian depan *fuselage* pesawat. Terdapat *pneumatic tubing* yang digunakan untuk menghubungkan komponen *pitot-static*. *Drain fitting* digunakan untuk membuang air karena kondensasi pada hubungan *pitot-static*. Dua *pitot probe* utama terhubung dengan dua *pitot air data module* (ADM). ADM mengubah tekanan udara menjadi sinyal *electrical* dan mengirim sinyal tersebut ke *air data inertial reference unit* (ADIRU). ADIRU menggunakan sinyal tersebut untuk menghitung parameter terbang seperti *airspeed* dan *altitude*. *Aux pitot probe* terhubung dengan *integrated standby flight display* (ISFD).

d. Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah teknik yang digunakan untuk meningkatkan keandalan dan keamanan suatu proses dengan cara mengidentifikasi potensi kegagalan - atau disebut modus kegagalan - pada proses tersebut. Setiap modus kegagalan akan dinilai menggunakan tiga parameter, yaitu keparahan (*severity*-S), kemungkinan terjadinya (*occurrence*-O), dan kemungkinan kegagalan deteksi (*detectability*-D). Ketiga parameter itu kemudian digabungkan untuk menentukan signifikansi kekritisan dari setiap modus kegagalan. Gabungan dari tiga parameter tersebut dikenal dengan Angka Prioritas Risiko (*Risk Priority Number*-RPN). (Alijoyo, Wijaya, & Jacob, 2020)

Terdapat beberapa *item* dalam pembuatan FMEA *worksheet* yaitu:

1) Potential Failure Mode

   Potential failure mode adalah suatu potensi kegagalan yang ditemukan pada suatu sistem dengan cara pemikiran logika. *Potential failure mode* didefinisikan sebagai cara dimana komponen, subsistem, atau sistem berpotensi gagal memenuhi tujuan desainnya. Untuk menentukan *potential failure mode* dapat dimulai dengan meninjau hal-hal yang tidak beres yang pernah terjadi, dokumen-dokumen yang berkaitan dengan kerusakan, dan diskusi kelompok. Beberapa tipe mode kegagalan dapat berupa retak, cacat, aus, bocor, arus singkat (elektrik), teroksidasi, dan patah.

2) Potential Effect of Failure

   Potential effect of failure adalah akibat atau pengaruh kegagalan yang terjadi pada suatu sistem dari potensi kegagalan yang ada. Efek kegagalan dijelaskan dalam hal yang mungkin dapat diperhatikan atau dialami. Apakah efek tersebut berdampak pada keselamatan atau kepatuhan terhadap regulasi tertentu. Efek dinyatakan dalam kaitannya dengan sistem, subsistem, atau komponen tertentu yang dianalisis. Misalnya, suatu bagian yang patah dapat menyebabkan rakitan bergetar yang mengakibatkan pengoperasian sistem terputus-putus. Pengoperasian sistem yang terputus-putus dapat menyebabkan penurunan kinerja dan akhirnya menyebabkan ketidakpuasan pelanggan. Beberapa tipe efek kegagalan dapat berupa kebisingan, operasi yang tidak menentu, hasil yang jelek, ketidakstabilan, operasi yang terputus-putus, kasar/buruk, aroma tak sedap, dan lain-lain.

3) Severity

   Severity adalah sebuah penilaian terhadap tingkat keseriusan suatu efek atau akibat dari potensi kegagalan pada suatu sistem yang berpengaruh pada suatu hasil kerja sistem. *Severity* dapat dinilai pada skala 1 sampai 10. *Rank of severity* dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. *Rank of Severity*

EFEK	KRITERIA	RANK
Bahaya tanpa tanda-tanda	Keparahan sangat tinggi, dapat mempengaruhi keselamatan penerbangan atau sehubungan dengan peraturan pemerintah. Kegagalan terjadi dengan tidak ada tanda-tanda kerusakan sebelumnya	10

Bahaya dengan tanda-tanda	Keparahan sangat tinggi, dapat mempengaruhi keselamatan penerbangan atau sehubungan dengan peraturan pemerintah. Kegagalan terjadi dengan adanya tanda-tanda kerusakan sebelumnya	9
Sangat tinggi	Pesawat tidak dapat dioperasikan (kegagalan fungsi utama)	8
Tinggi	Pesawat dapat dioperasikan namun terjadi penurunan level performa pesawat	7
Sedang	Pesawat dapat dioperasikan, namun ada gangguan *minor* dan beberapa alat tidak dapat dioperasikan	6
Rendah	Pesawat dapat beroperasi dengan penurunan tingkat performa pada beberapa alat	5
Sangat rendah	Pesawat dapat beroperasi dengan baik, namun masih ada tanda-tanda kerusakan-kerusakan *minor* dari mesin. Perbaikan kegagalan lebih lama tetapi tidak menunda operasi	4
Kecil	Pesawat dapat beroperasi dengan baik, namun masih ada tanda-tanda kerusakan-kerusakan *minor* dari mesin. Perbaikan kegagalan dapat dilakukan dengan cepat	3
Sangat kecil	Pesawat dapat beroperasi dengan baik dengan gangguan yang sangat kecil	2
Tidak ada	Tidak ada efek	1

4) Potential Cause of Failure

Potensial cause of failure adalah penyebab kegagalan yang akan terjadi pada suatu sistem dari potensi kegagalan yang ada.

5) Occurrence

Occurrence adalah sebuah penilaian terhadap tingkatan keseringan dari suatu potensi kegagalan. Dari angka atau tingkatan *occurrence* ini dapat diketahui kemungkinan terdapatnya kerusakan dan tingkat keseringan terjadinya kerusakan pada sistem. *Occurrence* dapat dinilai pada skala 1 sampai 10. *Rank of occurrence* dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2. *Rank of Occurence*

KEMUNGKINAN TERJADI KEGAGALAN	LAJU KEGAGALAN	RANK
Sangat tinggi : kegagalan pasti Terjadi	1 dalam 2 kejadian	10
	1 dalam 3 kejadian	9
Tinggi : kegagalan yang berulang-ulang	1 dalam 8 kejadian	8
	1 dalam 20 kejadian	7
Sedang : kegagalan terjadi Sesekali	1 dalam 80 kejadian	6
	1 dalam 400 kejadian	5
	1 dalam 2000 kejadian	4

Rendah : kegagalan yang terjadi tergolong jarang	1 dalam 15000 kejadian	3
	1 dalam 150000 kejadian	2
Kecil : kegagalan hampir tidak pernah terjadi	1 dalam 1500000 kejadian	1

6) Current Control Preventive

Current control preventive adalah bagaimana cara pencegahan atau penanggulangan dalam menyelesaikan permasalahan atau penanggulangan dalam menyelesaikan permasalahan potensi kegagalan yang ada dengan cara mendesain atau merencanakan suatu *preventive action* atau tindakan pencegahan menuju hasil yang lebih baik, sehingga potensi kegagalan pada sistem tidak terjadi lagi atau setidak-tidaknya mengurangi angka kejadian terjadinya potensi kegagalan.

7) Current Control Detection

Current control detection merupakan suatu cara atau metode yang digunakan untuk mendeteksi potensi kegagalan yang terjadi.

8) Detection

Detection adalah sebuah penilaian terhadap tingkat kemudahan mendeteksi suatu potensial kegagalan. Penilaian tingkat *detection* sangat penting dalam menemukan potensi penyebab kegagalan yang menimbulkan kerusakan. *Detection* dapat dinilai pada skala 1 sampai 10. *Rank of detection* dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3. *Rank of Detection*

Deteksi	Kriteria Peluang Deteksi	Rank
Tidak ada	Tidak ada mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	10
Sangat kecil	Hampir tidak ada mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	9
Kecil	Peluang sangat kecil mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	8
Sangat rendah	Peluang kecil mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	7
Rendah	Peluang agak kecil mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	6
Sedang	Peluang sedang mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	5
Cukup tinggi	Peluang agak tinggi mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	4
Tinggi	Peluang tinggi mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	3

Sangat tinggi	Peluang sangat tinggi mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	2
Pasti tersedia	Peluang hampir pasti mekanisme yang tersedia untuk mendeteksi penyebab kegagalan potensial atau modus kegagalan	1

9) *Risk Priority Number* (RPN)

RPN (*Risk Priority Number*) merupakan hasil perkalian dari *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D).

$$RPN = S \times O \times D$$

Risk priority number (RPN) adalah ukuran yang digunakan ketika menilai resiko untuk membantu mengidentifikasi *critical failure modes* terkait dengan desain atau proses. RPN ini berfungsi untuk menilai kejadian-kejadian kegagalan, dari data kualitatif menjadi sebuah data kuantitatif sebagai acuan untuk melakukan tindakan koreksi (*corrective action*) terhadap aset yang mengalami kegagalan. Nilai RPN berkisar dari 1 (terbaik mutlak) hingga 1000 (absolut terburuk).

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah FMEA *Worksheet pitot probe* Boeing 737-900ER yang disusun melalui diskusi dengan *engineer* Batam Aero Technic, ditunjukkan pada tabel 4

Tabel 4. FMEA *Worksheet Pitot Probe*

Ystem	Component	No	Potential failure mode	Potential cause of failure	Potential effect of failure	Current control prevention	S	O	D	Rpn
Static and total air pressure system	Pitot probe	1	Aux pitot lt on	Resistance of the pitot out of limit	Heater temp can't reach and then pitot blocked due to icing	Replace aux pitot, test alternate pitot sys leak, test aux pitot heater	4	8	1	32
		2	Aux pitot heater light on when select to on	Heater bad	Ias disagree	Perform replace aux pitot probe, leak test, heater test	5	7	1	35
		3	F/o pitot probe does not get hot	Not heat	Probe is blocked	Replacement f/o pitot, installation test air data sensor and do right pitot system leak test	4	7	1	28
		4	F/o pitot light on	Resistance out of limit	Heater temp can't reach and then pitot blocked due to icing	Replace f/o pitot probe, pitot leak test, heater test	4	8	1	32

		5	Capt pitot lt on	Resistance under limit	Heater temp can't reach and then pitot blocked due to icing	Perform removal capt. Side pitot probe, perform installation capt. Side, pitot probe leak test	4	8	1	32
		6	F/o pitot light on and aux pitot light on inflight	Resistance out of limit	Heater temp can't reach and then pitot blocked due to icing	Replace f/o pitot probe, pitot leak test, heater test	4	7	1	28
		7	Aux pitot c/b always pop out	Resistance out of limit	Aux pitot heater inop	Replace aux pitot probe and perform leak test	5	7	1	35
		8	F/o side ias and alt disagree	Heater not heating	Probe is blocked d/t icing	Replace f/o pitot probe	6	7	3	126

Berdasarkan FMEA *worksheet* didapatkan nilai RPN tertinggi adalah 126 pada mode kegagalan "IAS AND ALT DISAGREE" dimana parameter *severity* pada nilai 6 dimana pesawat dapat dioperasikan namun terdapat gangguan minor dan beberapa alat tidak dapat dioperasikan dengan kemungkinan kejadian kegagalan adalah 1 dari 20 kejadian dan peluang deteksi tinggi.

4. Kesimpulan

Mode kegagalan yang terjadi pada komponen *pitot probe* Boeing 737-900ER adalah *aux pitot light on, aux pitot heater light on when select to on, F/O pitot doesn't get hot, F/O pitot light on, capt pitot light on, F/O pitot light on and aux pitot light on inflight, C/B always pop out*, dan *IAS and ALT disagree.* Nilai RPN tertinggi adalah 126 pada mode kegagalan "IAS AND ALT DISAGREE" dimana parameter *severity* pada nilai 6 dimana pesawat dapat dioperasikan namun terdapat gangguan minor dan beberapa alat tidak dapat dioperasikan, dengan kemungkinan kejadian adalah 1 dari 20 kejadian dan peluang deteksi tinggi.

Daftar Pustaka

[1] Alijoyo, Antonius. Bobby Wijaya., dan Intan Jacob. (2020). *Failure Mode Effect Analysis.* Bandung: CRMS Indonesia

[2] Andiyanto dkk. (2016). *Penerapan Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Untuk Kuantifikasi dan Pencegahan Resiko Akibat Terjadinya Lean Waste. Jurnal Online Poros Teknik Mesin Volume 6 Nomor 1*, 45-57.

[3] Hanif dkk. (2015). *Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury di PT. X Dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA). Reka Integra No. 03 Vol. 03,* 137-147.

[4] SAEJ-1739, Failure Mode and Effect Analysis, AIAG & ASQC, USA

[5] Pramdana, Hendra Satria. (2014). *Analisis Program Pemantauan Kehandalan Start Air Valve Pesawat Boeing 737-900ER Menggunakan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA).* Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto.

[6] Villacourt, Mario. (1992). *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry*. Sematech International.

ANALISIS KESIAPAN PKP-PK BANDAR UDARA INTERNASIONAL BANYUWANGI DALAM MENDUKUNG PENANGGULANGAN KEADAAN DARURAT

Muhammad Nur Hilmy[1], Gunawan[2*], Bangga Dirgantara Adiputra[3]
[1,3]Program Studi Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Indonesia
[2]Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Indonesia
[2]*gunawan@itda.ac.id

Abstract

PKP-PK is a unit that must be owned by every airport. This unit is tasked with carrying out aviation accident rescue and fire fighting in the area or around the airport. Seeing the importance of this unit, it is necessary to conduct research on emergency service facilities, find out the reaction time, analyze PKP-PK categories, analyze fire risk management, and the development of this unit. This research was conducted at the PKP-PK unit located at Bayuwangi International Airport. The research method used is descriptive quantitative where data is obtained from the results of questionnaires given to PKP-PK personnel. These data are then compared with Regulation Nomor KP 14 Tahun 2015 which is used to assess the readiness of the PKP-PK. Whereas for risk mapping using the FAA Risk Matrix table. The results show that there is still a shortage of operational facilities while the reaction time and PKP-PK categories are in accordance with regulations. Risk mapping obtains 4 events that have a potential hazard.

Keywords: *PKP-PK, readiness, emergency, regulation*

1. Pengantar

Berdasarkan Undang-undang Nomor 1 Tahun 2009, bandar udara adalah suatu kawasan yang terdapat di daratan dan/atau perairan yang dibatasi dengan batasan-batasan tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik dan turunnya penumpang, bongkar muat barang serta tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta dilengkapi dengan fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya.

Fasilitas-fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan sangat diperlukan untuk menghindari kecelakaan pesawat terbang yang dapat menimbulkan kerugian, baik korban jiwa maupun kerugian material dan waktu, sehingga kepercayaan masyarakat atas kenyamanan dan keselamatan dalam penggunaan transportasi udara semakin berkurang, meskipun kebutuhan atas penggunaan transportasi udara ini sangat tinggi [1].

Beberapa kasus keadaan darurat yang melanda berbagai bandar udara di Indonesia diantaranya ialah kecelakaan pesawat Garuda Indonesia pada tanggal 7 Maret 2007 dengan nomor penerbangan GA200 yang tergelincir dan terbakar di Bandar Udara Adisutjipto, dengan korban meninggal dunia sebanyak 21 orang [2]. Pesawat Lion Air dengan nomor penerbangan JT-173 yang tergelincir di Bandar Udara Raden Intan II [3]. Oleh sebab itu penting bagi setiap bandar udara dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan bandar udara.

Bandar Udara Internasional Banyuwangi yang dikelola oleh Angkasa Pura II sudah dilengkapi dengan fasilitas bandar udara. Pemenuhan fasilitas bandar udara sesuai dengan UU No 1 Tahun 2009 pasal 219 yang berbunyi setiap badan usaha bandar udara atau unit yang menyelenggarakan bandar udara wajib menyediakan fasilitas bandar udara yang memenuhi persyaratan keselamatan dan keamanan penerbangan, serta pelayanan jasa bandar udara sesuai dengan standar pelayanan yang sudah di tetapkan [4]. Untuk memastikan keselamatan penerbangan, Bandar Udara Internasional Banyuwangi dilengkapi dengan fasilitas pendukung salah satunya, tersedianya unit Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Dalam Peraturan Jenderal Perhubungan Nomor 14 Tahun 2015, menegaskan bahwasanya setiap penyelenggara bandar udara wajib menyediakan dan memberikan pelayanan PKP-PK di bandara dengan standar yang sesuai dengan standar teknis dan operasional [5].

Dalam struktur organisasi bandar udara, PKP-PK adalah suatu unit kerja yang termasuk bagian dari bidang operasi di darat yang memiliki tugas melakukan pertolongan kecelakaan penerbangan dan pemadam kebakaran serta penanggulangan keadaan gawat darurat di lingkungan bandar udara yang bersangkutan, menyelamatkan manusia serta barangnya dari kejadian kecelakaan pesawat udara, mengendalikan dan memadamkan serta melindungi manusia dan barangnya yang terancam dari api atau kebakaran [6]. Dengan adanya peran dan tugas unit PKP-PK yang sangat penting maka unit PKP-PK harus selalu siap dalam menghadapi keadaan darurat.

Penanggulangan keadaan darurat yang terdapat di bandar udara perlu perhatian lebih. Hal ini disebabkan, apabila potensi bahaya keadaan darurat tidak dilakukan penanggulangan atau pengendalian secara cepat dan tepat maka dapat menyebabkan kecelakaan yang menimbulkan banyak kerugian, diantaranya dapat menimbulkan korban baik pegawai maupun pengunjung, material, keuangan, dan terganggunya aktivitas perjalanan pengunjung [7].

Dalam penanggulangan keadaan darurat diperlukan Fasilitas Pelayanan Darurat (FPD) yang dalam peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor 172 Tahun 2017 fasilitas pelayanan darurat dibagi menjadi kategori PKP-PK, kendaraan utama dan pendukung PKP-PK, peralatan pendukung, bahan pemadam, dan sarana dan prasarana penunjang pelayanan darurat [8]. Fasilitas pelayanan darurat di Bandar Udara Banyuwangi masih ada beberapa hal yang belum sesuai dengan peraturan.

2. Metode Penelitian

a. Ukuran Sampel

Jumlah anggota sampel sering dinyatakan dengan ukuran sampel [9]. Dalam penelitian ini penghitungan jumlah anggota sampel menggunakan rumus yang *dikembangkan* dari *isac dan Michael*. Dimana untuk tingkat kesalah yang di ambil dalam penelitian ini adalah sebesar 10%. Rumus untuk menghitung ukuran sampel dari populasi yang diketahui jumlahnya adalah sebagai berikut [9] :

$$S = \frac{\ddot{e}^2 \times N \times P \times Q}{d^2\left(\mathrm{N}-1\right) + \lambda^2 \times \mathrm{P} \times \mathrm{Q}} \tag{1}$$

Dimana S merupakan jumlah sampel yang dibutuhkan, adalah nilai pada tabel Chi Kuadrat dengan dk 1 dan taraf signifikasi 5%, N adalah jumlah populasi, P adalah peluang benar, Q adalah peluang salah, dan d adalah tingkat kesalahan.

Tabel 1. Kisi-kisi instrumen penelitian kuesioner

Variabel Penelitian	Indikator	Sub Indikator	Nomor Item
Kesiapan PKP-PK (X)	Fasilitas Pelayanan Darurat	Kategori PKP-PK	1, 2
		Kendaraan Utama dan Pendukung PKP-PK	3, 4
		Peralatan Pendukung	5
		Bahan Pemadam	6, 7, 8,
		Sarana dan Prasarana Penunjang Pelayanan Darurat	9,10,11, 12
	Response time	Performa kendaraan	13
		Kecepatan personil	14
		Kecepatan mendapatkan informasi dari ATC	15
Penanggulangan Keadaan Darurat (Y)	Prosedur	Dokumen contingency plan	1
	Kesiapan Personel	Pemahaman terkait Penanggulangan darurat	2
		Latihan terkait Penanggulangan darurat	3
	Kesiapan fasilitas	Pusat Operasi Penanggulangan Keadaan Darurat	4
		Grid Map	5
Manajemen Risiko	Indentifikasi Hazardf	Like lihood	1-6
		Severity	1-6

b. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian merupakan alat ukur yang digunakan dalam penelitian, yaitu alat yang digunakan untuk mengukur fenomena (variabel) yang diamati [10]. Dari pengertian tersebut dapat dipahami bahwa instrumen merupakan suatu alat bantu yang digunakan oleh peneliti dalam menggunakan metode pengumpulan data secara sistematis dan lebih mudah. Adapun dalam penelitian ini instrumen yang di gunakan adalah kuesioner dan dokumenter. Dalam instrumen kuesioner diberikan kisi-kisi penelitian seperti pada tabel 1.

c. Uji Validitas

Uji validitas instrumen penelitian, merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui keabsahan/ ketepatan/ kecermatan suatu item pertanyaan dalam mengukur variabel yang diteliti [10]. Pengujian validitas dilakukan dengan dua tipe pengujian yaitu pengujian internal dan pengujian eksternal. Tipe pengujian internal dilakukan dengan uji validitas kriteria dengan metode *product moment correlation.* Adapun rumus dari korelasi *person product momen* sebagai berikut [11]:

$$r_{xy} = \frac{N\sum xy - \left(\sum x\right)\left(\sum y\right)}{\sqrt{\left[N\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2\left(N\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2\right)\right]}} \quad (2)$$

Dimana merupakan koefisien korelasi antara variabel x dan y, adalah jumlah perkalian antara variabel x dan y, adakah jumlah dari kuadrat nilai x, adalah umlah dari kuadrat nilai y, adalah jumlah nilai x kemudian dikuadratkan, adalah jumlah nilai x kemudian dikuadratkan, dan N adalah banyaknya sampel

d. Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas instrumen penelitian, merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui keandalan (tingkat kepercayaan) suatu item pertanyaan dalam mengukur variabel yang diteliti. Suatu instrumen penelitian dapat memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi, jika hasil dari pengujian instrumen tersebut menunjukkan hasil yang relatif tetap [10].

Dalam penelitian ini uji reliabilitas dilakukan dengan menggunakan pendekatan *internal consistency reliability* yang menggunakan *alpha cronbach* untuk mengidentifikasikan seberapa baik hubungan antara item-item dalam instrumen penelitian. Rumus dari *Alpha Cronbach* adalah sebagai berikut [11]:

$$r = \left(\frac{n}{\acute{n} - 1} \right) \left(1 - \frac{\sum \acute{o}_t^2}{{}_t^2} \right) \tag{3}$$

Dimana r merupakan reliabilitas yang dicari, n adalah jumlah item pertanyaan yang di uji, adalah jumlah varians skor tiap-tiap item, dan adalah varians total

e. Uji Koefisien Korelasi Kendall

Uji korelasi kendall adalah suatu ukuran non parametris yang digunakan untuk variabel ordinal dengan arah hubungan simetrik atau asimetrik [12]. Dasar pengukuran ini adalah perbandingan nilai dari kedua variabel untuk seluruh pasangan data yang ada. Rumus dari Uji korelasi kendall adalah sebagai berikut [13]:

$$\hat{o} = \frac{2S}{n(n-1)} = \frac{2(C-D)}{n(n-1)} \tag{4}$$

Dimana merupkan koefisien korelasi kendall, S adalah statistik untuk jumlah konkordasi dan diskordans, n adalah jumlah pasangan X dan Y, C adalah banyak pasangan konkordansi (wajar), dan D adalah banyak pasangan diskordans (tidak wajar)

f. Analisis Fasilitas Pelayanan Darurat PKP-PK

Analisis Fasilitas pelayanan darurat pada Bandar Udara Internasional Banyuwangi berdasarkan pada peraturan KP 14 Tahun 2015. Dalam peraturan ini dibagi menjadi kategori PKP-PK, kendaraan utama dan pendukung PKP-PK, peralatan pendukung, bahan pemadam, sarana dan prasarana penunjang pelayanan darurat [5].

g. Analisis Personel PKP-PK

Analisis Personel PKP-PK pada Bandar Udara Internasional Banyuwangi berdasarkan pada peraturan KP 14 Tahun. Dalam peraturan tersebut menjelaskan terkait penghitungan kebutuhan personel PKP-PK Bandar Udara *per-shift* berdasarkan jumlah kendaraan utama dan pendukung, untuk kendaraan cadangan (*back-up*) tidak diperhitungkan. Kebutuhan jumlah personel PKP-PK Bandar Udara dapat di hitung menggunakan rumus sebagai berikut [5]:

$$JMP = \left(\left(3KU + 2KP \right) \times S \right) + TP \tag{5}$$

Dimana JMP merupakan jumlah minimum personel, KU adalah Jumlah kendaraan utama, KP adalah jumlah kendaraan pendukung, TP adalah teknisi pemeliharaan, dan S adalah jumlah *shift* kerja per hari.

h. Analisi Perhitungan Response Time

Analisis Perhitungan *Response Time* dalam menangani suatu *incident* maupun ac*cident* PKP-PK wajib mencapai *Response time* (waktu bereaksi) tidak lebih dari 3 (tiga) menit ke setiap area pergerakan pesawat udara (*movement area*) pada kondisi jarak pandang optimum dan permukaan jalan yang dilalui dalam kondisi baik, dihitung dari awal diterimanya pemberitahuan atau diketahuinya adanya kecelakaan pesawat udara oleh unit PKP-PK sampai dengan kendaraan PKP-PK menempatkan posisinya untuk melaksanakan pemadaman dan siap memancarkan bahan pemadam busa minimal 50% dari rata-rata pancaran (*discharge rate*) yang di per syaratkan sesuai kategori Bandar Udara untuk PKP-PK [5]. Perhitungan persentase rata-rata *response time* mengunakan sebagai berikut:

$$\text{prosentase RT} = \frac{\text{RT} - (\text{n} - \text{RT})}{\text{RT}} \times 100\% \tag{6}$$

Dimana Persentase RT merupakan persentase pencapaian rata-rata target *response time*, RT adalah waktu standar *response time*, dan n adalah waktu hasil pengujian *response time*.

i. Analisis Staatistik Diskriptif Respondem

Analisis statistik deskriptif responden digunakan untuk mendeskripsikan data yang telah terkumpul sebagai mana adanya, dengan harapan untuk mendapatkan tanggapan dari para personel PKP-PK terkait keadaan yang ada saat ini. Tanggapan dari para personel nantinya akan di bandingkan dengan data yang ada di peraturan.

j. Analisis Jawaban Responden Terkait *Hazard*

Analisis ini dilakukan dengan cara melakukan pemetaan risiko di PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi, terlebih dahulu melakukan observasi dan wawancara kepada narasumber terkait risiko apa saja yang pernah terjadi dan apa saja yang dapat menimbulkan risiko. Berdasarkan analisis statistik deskriptif dapat diketahui tanggapan personel PKP-PK terkait analisis pemetaan risiko kebakaran yang ada di PKP-PK Bandara Banyuwangi. Selanjutnya dilakukan pemetaan risiko dengan menempatkan ke dalam tabel *risk matrix* FAA [14]. Pemetaan dilakukan dengan memasukkan nilai rata-rata yang telah dibulatkan pada zona merah, kuning dan, hijau.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Ukuran Sampel

Jumlah anggota sampel dalam penelitian ini berdasarkan (1) dengan = 2,705543, N = 18, P = 50%, Q = 50%, dan d 10% adalah 18 sampel.

b. Hasil Uji Validitas

Pengujian validitas dengan metode *product moment correlation* (2). Jika r_{hitung} lebih besar dari r_{tabel} maka butir instrumen pengukuran disebut valid atau sahih. Sebaliknya apabila r_{hitung} lebih kecil dari r_{tabel} maka butir instrumen pengukuran disebut tidak valid atau tidak sahih [10]. Berdasarkan tingkat signifikansi yang digunakan adalah α = 10% atau dengan taraf kepercayaan sebesar 90%. Dari jumlah sampel penelitian sebanyak 18 responden maka rumus yang digunakan untuk menentukan r_{tabel} adalah = df (N-2), tingkat signifikansi uji dua

Tabel 2. Hasil Uji Validitas

Variabel	Item	Korelasi		Keputusan
		rhitung	rtabel	
Kesiapan PKP-PK (x)	X.1	0,582	0,400	Valid
	X.2	0,816	0,400	Valid
	X.4	0,560	0,400	Valid
	X.5	0,606	0,400	Valid
	X.6	0,673	0,400	Valid
	X.8	0,543	0,400	Valid
	X.9	0,654	0,400	Valid
	X.10	0,598	0,400	Valid
	X.11	0,529	0,400	Valid
	X.13	0,471	0,400	Valid
	X.14	0,647	0,400	Valid
	X.15	0,625	0,400	Valid
Penanggulangan Keadaan Darurat (Y)	Y.1	0,846	0,400	Valid
	Y.2	0,928	0,400	Valid
	Y.3	0,779	0,400	Valid
	Y.4	0,628	0,400	Valid
	Y.5	0,742	0,400	Valid
Manajemen Risiko	LL.1	0,827	0,400	Valid
	LL.3	0,650	0,400	Valid
	LL.4	0,622	0,400	Valid
	LL.5	0,717	0,400	Valid
	LL.6	0,710	0,400	Valid
	S.1	0,524	0,400	Valid
	S.2	0,458	0,400	Valid
	S.3	0,707	0,400	Valid
	S.4	0,838	0,400	Valid
	S.5	0,821	0,400	Valid
	S.6	0,694	0,400	Valid

arah. Maka r_{tabel} = df (18-2, 0,10 = 0,4000. Hasil uji validitas dengan metode *product moment correlation* (2) selengkapmya pada pada tabel 2.

Pada pengujian validitas pertama variabel X.3, X.7, X.12, dan LL.2 tidak valid karena mempunyai nilai r_{hitung} kurang dari 0,400. Sedangkan pada pengujian kedua setelah mengilangkan variabel X.3, X.7, X.12, dan LL.2 seperti pada tabel 2 semua variabel sudah valid,

c. Hasil Uji Reliabilitas

Pengujian reliabilitas menggunakan pendekatan *internal consistency reliability* dengan menggunakan uji *alpha cronbach* (3). Suatu instrumen reliabel jika nilai r_{hitung} lebih besar dari 0,6 berarti instrumen reliabel yang berarti alat ukur yang dipergunakan dapat diandalkan [15]. Hasil uji reliabilitas menggunakan uji *alpha cronbach* (3) selengkapmya pada pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Reliabilitas

Variable	N of Item	cronbach's alpha	Cut off	Keputusan
Kesiapan PKP-PK (X)	12	0,843	0,60	Reliabel
Penanggulangan Keadaan Darurat (Y)	5	0,831	0,60	Reliabel
like lihood (LL)	5	0,736	0,60	Reliabel
Severity (S)	6	0,681	0,60	Reliabel

Tabel 4. Hasil Uji kendall

Nonparametric correlations				
Correlations				
Kesiapan PKP-PK				Penanggulangan Keadaan Darurat
Kendall's tau_b	Kesiapan PKP-PK	Correlation coefficient	1.000	0.332
		Sig.(2-tailed)	-	0,073
		N	18	18
	Penanggulangan Keadaan darurat	Correlation coefficient	0.332	1.000
		Sig.(2-tailed)	0,073	-
		N	18	18

Berdasarkan tabel 3 semua indikator dari variabel kesiapan PKP-PK, variabel penanggulangan keadaan darurat, variabel *like lihood*, dan variabel *saverity* sudah reliabel, sehingga dapat diandalkan untuk mengumpulkan data empiris terkait dengan keempat variabel.

d. Hasil Uji Koefisien Korelasi Kendall

Analisis inferensial adalah teknik statistik yang digunakan untuk menganalisis data sampel, dan hasilnya diberlakukan untuk populasi. Analisis inferensial yang dilakukan dalam penelitian termasuk ke dalam statistis non parametris karena data yang terkumpul dalam bentuk ordinal. Dalam penelitian ini pengujian menggunakan uji koefisien korelasi kendall. Hasil uji korelasi kendall (4) menggunakan (SPSS) versi 26 *for windows* seperti pada tabel 4.

Berdasaakan tabel 4, variabel kesiapan PKP-PK dengan penanggulangan keadaan darurat PKP-PK diperoleh hasil nilai korelasi sebesar 0,332 dan dengan nilai signifikansi sebesar 0,073. Nilai signifikansi sebesar 0,073 < 0,10 (nilai α = 10%), maka H_0 (tidak terdapat hubungan antara kesiapan PKP-PK dengan penanggulangan keadaan darurat) **ditolak.** Selanjutnya H_a (terdapat hubungan antara kesiapan PKP-PK dengan penanggulangan keadaan darurat) **diterima.** Sehingga dapat disimpulkan terdapat hubungan antara kesiapan PKP-PK dengan penanggulangan keadaan darurat.

Berdasarkan nilai koefisien korelasi yang bertanda positif, menunjukkan adanya arah hubungan yang searah, ini berarti semakin tinggi kesiapan PKP-PK maka akan di barengi dengan semakin meningkatnya penanggulangan keadaan darurat di Bandar Udara Internasional

Tabel 5 Pergerakan pesawat pada bulan April – Juni 2022

No	Pesawat Udara	Panjang Keseluruhan Pesawat Udara	Lebar Maksimum Badan Pesawat Udara	Kategori Untuk PKP-PK	Pergerakan Pesawat Udara
1	Airbus 320-200	37,6 m	3,7 m	6	240
2	Embraer Legacy 650	26,3 m	2,1 m	4	2
3	Embraer-505 Phenom-300	15,9 m	1,6 m	3	2
4	Hawker Beechjet 850	15,6 m	1,8 m	3	4
5	Hawker Beechjet 900	15,6 m	1,8 m	3	2
6	Hawker Beechcraft 400xp	14,7 m	1,5 m	3	2
7	C208	12,7 m	1,63 m	3	56
8	Cesna 172	8,2 m	1,5 m	2	252

Banyuwangi, begitu pun sebaliknya apabila kesiapan PKP-PK mengalami penurunan maka penanggulangan keadaan darurat ikut menurun di Bandar Udara Banyuwangi. Sedangkan berdasarkan nilai koefisien relasi sebesar 0,332 maka hubungan korelasi antara dua variabel dinyatakan cukup.

e. Hasil Analisis Fasilitas Pelayanan Darurat PKP-PK

1) Analisis Kategori PKP-PK

Penetapan kategori Bandar Udara untuk PKP-PK harus sesuai dengan pesawat terbesar yang mendarat di Bandar Udara Internasional Banyuwangi dengan jumlah pergerakan pesawat 700 (tujuh ratus) pergerakan tersibuk selama 3 (tiga) bulan berturut – turut [5]. Berdasarkan data pergerakan pesawat maka kategori bandar udara untuk PKP-PK Bandar Udara Internasional Banyuwangi seperti pada tabel 5.

Berdasarkan pergerakan pesawat pada tabel 5, selamat tiga bulan berturut-turut dapat ditentukan kategori minimum bandara sebagai berikut:

a) Evaluasi kategori pesawat udara, dengan melihat panjang keseluruhan pesawat udara, lebar badan pesawat, dan pergerakan pesawat apakah mencapai 700 pergerakan selama 3 bulan[5].
b) Berdasarkan Panjang dan lebar pesawat udara untuk penentuan kategori bandar udara untuk PKP-PK [5], untuk pesawat A 320-200 bahwa lebar pesawat sesuai dengan kategori 5, namun panjang keseluruhan pesawat yang sesuai adalah kategori 6 [5], maka kategori PKP-PK ditetapkan 6.
c) Pada tabel 5 terlihat bahwa jumlah pergerakan pesawat udara yang terpanjang untuk kategori yang tertinggi berjumlah kurang dari 700 (pesawat udara No. 1 = 240), maka penentuan kategori PKP-PK dapat kurang 1 (satu) tingkat dari kategori pesawat udara terbesar [5]. Sehingga penentuan kategori PKP-PK ditetapkan minimum kategori 5.

Dengan melihat perhitungan kategori minimum di atas diketahui kategori minimum bandar udara internasional Banyuwangi untuk PKP-PK adalah 5. Saat ini

Tabel 6. Daftar kendaraan Utama PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi

No	Nama Kendaraan Utama	Merek	Tipe	Jumlah	Kapasitas bahan pemadam			Keterangan
					Kapasitas air (liter)	Kapasitas foam (liter)	DCP (kg)	
1.	Foam Tender 01	Mercedes Benz Actros	IV	1	4000	500	250	Baik
2.	Foam Tender 02	HINO 500 Series	V	1	2400	400		Baik
3.	Foam Tender 03	IVECO Trakker	V	1	2400	400		Baik
4.	Foam Tender 05	Morita	II	1	10000	1200		Unserviceable
5.	RIV	Mitsubishi Strada		1			250	Baik

Tabel 7. Daftar kendaraan pendukung PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi

No	Nama Kendaraan Pendukung	Merek	Regulasi (KP 14)	Jumlah Existing	Gap	Keterangan
1.	Ambulance	ISUZU	2	1	-1	Masih kurang
2	Comando Car	-	1	0	-1	Belum ada
3	Nurse Tender	-	1	0	-1	Belum ada

bandar udara Internasional Banyuwangi menetapkan kategori untuk PKP-PK dengan kategori 6 dengan demikian kategori minimum untuk PKP-PK sudah terpenuhi.

2) Analisis Kendaraan Utama dan Pendukung PKP-PK

PKP-PK Bandar Udara Internasional Banyuwangi sudah dilengkapi dengan kendaraan utama dan pendukung seperti di bawah ini:

a) Kendaraan utama

Dengan kategori Bandar Udara 6 (enam), maka sesuai dengan KP 14 Tahun 2015 kebutuhan air untuk memproduksi busa 7.900 liter [5], kendaraan utama PKP-PK bandar udara internasional Banyuwangi seperti pada tabel 6.

Berdasarkan tabel 6 dapat diketahui kendaraan PKP-PK bandar udara internasional Banyuwangi sudah dapat memenuhi kebutuhan air untuk kategori 6 sebesar 7.900 liter. Dimana jumlah kapasitas air yang ada di PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi sebesar 8.800 liter.

b) Kendaraan pendukung

Kendaraan pendukung yang ada di Bandar Udara Internasioanl Banyuwangi dengan kategori untuk PKP-PK 6 seperti pada tabel 7.

Berdasarkan tabel 7 dapat diketahui PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi masih memiliki kekurangan terkait kendaraan pendukung yaitu *Ambulance*, dimana diperlukan 1 unit *ambulance* lagi untuk sesuai dengan yang ada di peraturan. Untuk mobil *Comando Car* juga masih belum ada namun memfungsikan ganda mobil RIV selain sebagai kendaraan utama juga sebagai kendaraan *commando car* jika dibutuhkan. Selanjutnya kendaraan pendukung mobil *Nurse Tender* juga masih belum ada namun ketika dibutuhkan maka *Foam Tender 3* dapat difungsikan juga sebagai mobil *Nurse Tender* guna membantu memobilisasi bahan pemadam.

c) Peralatan pendukung

Tabel 8. Daftar peralatan pendukung PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi

No	Lingkup peralatan		Jenis peralatan	FT 01	FT 02	FT 03	FT 05	RIV	Regulasi	Gap
1.	Forcible entry tools	a	Prying Tool (Hooligan, Biel type)	0	0	0	0	0	1	-1
		b	Linggis (Crowbar) 95 cm	1	0	0	0	0	1	0
		c	Linggis (Crowbar) 1.65 m	1	0	0	0	0	1	0
		d	Kampak besar (Axe, rescue large non wedge type)	1	1	0	0	2	1	3
		e	Kampak kecil (Axe, rescue small non wedge or aircraft type)	1	0	0	0	0	2	-1
		f	Gunting pemotong (Cutter Bolt) 61 cm	1	1	0	0	1	2	1
		g	Palu (Hammer) 1.8 kg Lump or Club type	1	0	0	0	1	2	0
		h	Palu (Chisel cold) 2.5 cm	2	0	0	0	0	2	0
2.	A suitable range of rescue/cut in equipment including powered rescue tools	a	Hydraulic/Electrical (or Combination) Portable Rescue Equipment	0	1	0	0	0	1	0
		b	Gergaji Mesin (Powered rescue Saw Complete with Minimum 406 mm Diameter Spare Blades)	1	1	0	0	0	1	1
		c	Reciprocating/Oscillating Saw	0	0	0	0	0	1	-1
3.	A range of equipment for the delivery of firefighting agent	a	Delivery Hose 30 m lengths x 50 dan 64 mm Diameters= (20 x 50)	0	0	0	0	0	16	-16
		b	Foam Branches (Nozzle)	2	2	2	2	0	2	6
		c	Water Branches (Nozzle)	0	1	0	0	0	4	-3
		d	Coupling Adaptors	0	0	0	0	0	2	-2
		e	Portable Fire Extinguishers:							
			- CO2	0	0	0	0	0	2	-2
			- DCP	0	0	0	0	0	2	-2
4.	Self Contained Breathing Apparatus – sufficient to maintain rolonged internal operations note ideally one BA set per crew member	a	Breathing Apparatus (BA) Set C/W Facemask and Air Cylinder	2	1	1	0	0	ideally one BA set per crew member	-14
		b	BA Spare Air Cylinder	0	0	0	0	0		-18
		c	BA Spare Facemask	0	0	0	0	0		
5.	Respirators	a	Full Faced Respirators C/W Fillters	0	0	0	0	0	One per responding fire fighter	-15
6.	A range of ladders	a	Extension Ladder, Rescue & Suitable for Critical Aircraft	2	1	0	0	0	2	1
		b	Ladder General Purpose-Rescue Capable	0	0	0	0	0	1	-1
7.	Protective clothing	a	Firefighting helmet, coats, over trousers (c/w braces), boots & gloves as a minimum (entry suites)	0	2	2	0	0	One set per operational firefighter plus a % of reserve stock	-11
		b	Firefighting helmet, coats, over trousers (c/w braces), boots & gloves as a minimum (proximity suites)	3	4	3	0	0		-5
8.	Additional items for personal protection	a	Protective Googles	0	0	0	0	0	2	-2
		b	Flash Hoods	2	1	1	0	0	One per operational firefighter	-11
		c	Surgical Gloves	0	0	0	0	0	1 box	-1 box
		d	Blanket Fire Resisting	0	2	2	0	0	2	2

No	Lingkup peralatan	Jenis peralatan		FT 01	FT 02	FT 03	FT 05	RIV	Regulasi	Gap
9.	Rope lines	a	Rope Line Rescue 45 m	0	0	0	0	0	2	-2
		b	Rope Line General Use 30 m	1	1	0	0	0	2	0
		c	Rope Line Pocket 6 m	0	0	0	0	0	One per operational firefighter	-15
10.	Communication equipment	a	Portable Tranceivers (Handheld & Intrinsically Safe)	1	1	1	0	1	2	2
		b	Mobile Trainceivers (Vehicle)	1	1	1	1	1	One for each fire vehicle	0
11.	A range of handheld/portable lighting equipment	a	Handheld Flashlight-Spot or Flood (Intrinsically Safe)	0	0	0	0	0	4	-4
		b	Portable Lighting-Spot or Flood (Intrinsically Safe)	0	0	0	0	0	2	-2
12.	A range of general hand tools	a	Shovel Overhaul	0	0	0	0	0	2	-2
13.	Rescue toolbox & contents		Rescue toolbox & contents	0	0	0	0	0	2	-2
		a	Hammer, Claw 0.6 kg	0	0	0	0	0		
		b	Cutters, Cable 1.6 cm	0	0	0	0	0		
		c	Socket Set	0	0	0	0	0		
		d	Hacksaw, Heavy Duty C/W Spare Blades	0	0	0	0	0		
		e	Wrecking Bar 30 cm	0	0	0	0	0		
		f	Screwdriver Set-Slotted & Philips Heads	0	0	0	0	0		
		g	Pliers, Insulated	0	0	0	0	0		
			Combination 20 cm	0	0	0	0	0		
			Side Cutting 20 cm	0	0	0	0	0		
			Slip Joint-Multi Grip 25 cm	0	0	0	0	0		
		h	Seat Belt/Harness Cutting Tool	0	0	0	0	0		
		i	Wrench, Adjustable 30 cm	0	0	0	0	0		
		j	Spanners, Combination 10 mm - 21 mm	0	0	0	0	0		
14.	First aid equipment	a	Medical First Aid Kit	1	0	0	0	0	2	-1
		b	Automated External Defibrillator (AED)	0	0	0	0	0	2	-2
		c	Oxygent Resucitation Equipment (ORE)	0	0	0	0	0	2	-2
15.	Miscellaneous equipment	a	Chocks & Wedges - Various Sizes	1	0	1	0	0	1	1
		b	Tarpaulin-Lightweight	2	0	0	0	0	2	0
		c	Thermal Imaging Camera	0	0	0	0	0	1	-1

Peralatan Pendukung Operasi PKP-PK adalah peralatan yang harus tersedia di dalam kendaraan PKP-PK untuk menunjang operasional. Peralatan pendukung yang terdapat pada PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi seperti pada 8.

Berdasarkan tabel 8 PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi sudah memiliki peralatan pendukung dengan jumlah sesuai dengan standar bahkan ada yang sudah melebihi dari kebutuhan minimum namun masih ada beberapa peralatan pendukung yang belum sesuai dari standar peraturan KP 14 Tahun 2015.

d) Bahan Pemadam

Sesuai dengan kategori Bandar Udara untuk PKP-PK 6 maka kebutuhan bahan pemadam yang perlu dipenuhi untuk bahan pemadam utama dan bahan pemadam pelengkap pada kendaraan seperti pada tabel 9.

Tabel 9. Data persediaan bahan pemadam

Jenis Bahan Pemadam Utama dan pelengkap di kendaraan	Jumlah	Jumlah Standar	Gap	Satuan
1. Air	8.800	7.900	900	Liter
2. Aqueous Film Forming Foam (AFFF)	1.300	948	352	Liter
3. Dry Chemical Powder (DCP)	500	225	275	Kg

Tabel 10. Data persediaan bahan pemadam cadangan

Jenis Bahan Pemadam utama dan pelengkap Cadangan	Jumlah	Jumlah Standar	Gap	Satuan
1. Air	50.000	31.600	18.400	Liter
2. Aqueous Film Forming Foam (AFFF)	1.900	1.896	4	Liter
3. Dry Chemical Powder (DCP)	950	225	725	Kg

Tabel 11 Fasilitas Ruangan di *fire station* Bandar Udara Banyuwangi

No	Standar minimum ruangan	Ruangan di *fire station* Bandar Udar Banyuwangi
1	*Watch room* (ruwang pemantau)	Ada
2	*Chief's office* (ruwang komandan)	Ada
3	Electrical room	Ada
4	Building	Ada
5	*Workshop* (bengkel)	Ada
6	*Building strorage* (gedung penyimpanan)	Ada
7	*Kitchen alcove* (ruang kecil di dapur)	Ada
8	*Lecture / recreation* (tempat belajar dan rekreasi	Ada
9	*Dormitory* (asrama)	Ada
10	Bunker racks	Ada
11	*Toilet* (kamar kecil / WC)	Ada
12	*Shower* (pancuran)	Ada
13	*Cleaner room* (kamar bersih)	Ada
14	*Locker area* (tempat penyimpanan)	Ada
15	*Extinguishing agents' storage* (tempat penyimpanan alat pemadam)	Ada
16	*Vehicle storage* (tempat penyimpanan kendaraan)	Ada

Berdasarkan tabel 9 diketahui bahan pemadam untuk PKP-PK kategori 6 di Bandar udara innternasional Banyuawangi sudah memenuhi standar yang ditetapkan pada peraturan KP 14 Tahun 2015.

Setiap Bandar Udara juga harus menyediakan cadangan bahan pemadam di *fire station* yang terlindungi dari sinar matahari dan hujan, serta suhu ruangan yang stabil, dan dijaga agar tidak tercampur dengan bahan bakar / bahan lain yang dapat mengakibatkan menurunnya kualitas *foam*. Sesuai dengan kategori Bandar Udara untuk PKP-PK 6 maka kebutuhan bahan pemadam cadangan yang perlu dipenuhi seperti pada tabel 10.

Tabel 12. Penunjang operasional lainya di *fire station*

No	Keperluan operasional	Kondisi existing
1	Hidran	Ada
2	Tempat penampungan air	Ada
3	Gudang penyimpanan peralatan, bahan pemadam, dan bahan bakar	Ada
4	Gudang harus mempunyai ventilasi yang cukup	Sesuai
5	Fasilitas penggantian dan pengisian kembali pasokan air untuk kendaraan PKP-PK	Ada

Berdasarkan tabel 10 dapat diketahui PKP-PK bandar udara Banyuwangi sudah memenuhi kebutuhan bahan pemadam cadangan sesuai yang di peraturan KP 14 Tahun 2015.

e) Sarana dan Prasarana Penunjang Pelayanan Darurat

Berdasarkan KP 14 Tahun 2015 setiap bandar udara wajib memiliki pusat pengendalian dan pelaksanaan kegiatan operasi PKP-PK (*fire station*). Setiap *fire station* harus dilengkapi dengan fasilitas yang diperlukan kendaraan operasi PKP-PK, personel, dan keperluan operasional lainnya untuk memastikan efektivitas kemampuan dan tindakan segera pada keadaan darurat. (Untuk memenuhi kewajiban tersebut Bandar Udara Banyuwangi sudah membuat *fire station* yang terletak di area *airside* dan penempatannya sudah memenuhi waktu *response time*. Fasilitas untuk pengendalian dan pelaksanaan kegiatan operasi PKP-PK (*fire station*) sepeti pada tabel 11.

Berdasarkan tabel 11 dapat diketahui PKP-PK bandar udara Banyuwangi sudah memenuhi fasilitas ruangan sesuai yang di peraturan KP 14 Tahun 2015.

Untuk menunjang operasional lainya di *fire station* PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi seperti pada tabel 12.

Untuk penunjang operasional lainya di *fire station* PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi sudah terpenuhi semua seperti pada tabel 12.

Peraturan KP 14 Tahun 2015 juga mengatur terkait cadangan peralatan penunjang operasi PKP-PK minimum yang harus tersedia di *fire station*. Kondisi cadangan peralatan penunjang yang ada di *fire station* Bandar Udara Banyuwangi adalah seperti pada tabel 13.

Berdasarkan tabel 13 dapat diketahui cadangan peralatan penunjang operasi PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi beberapa sudah memenuhi standar bahkan ada yang sudah melebihi jumlah kebutuhan minimum untuk kategori PKP-PK 6, namun masih terdapat peralatan penunjang yang belum memenuhi standar.

Bedasarkan peraturan KP 14 Tahun 2015, pakaian pelindungan keselamatan kerja (*protective clothing*) dan peralatan bantu pernapasan (*respiratory equipment*) disesuaikan dengan jumlah personel PKP-PK.

Tabel 13. Cadangan peralatan penunjang operasi PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi

No	Jenis	Regulasi	Existing	Gap	Kondisi	keterangan
1.	Breathing Apparatus Set	8	7	-1	7 Rusak	Kerusakan pada masker
2.	Kompresor *Breathing Apparatus*	1	2	1	1 Baik, 1 Rusak	
3.	Baju Tahan Api (*Entry Suit*)	8	5	-3	Baik	
4.	Baju Tahan Panas (*Approach Suits*)	24	2	-22	Baik	
6.	Selang Pemadam	20	7	-13	7 Rusak	Kerusakan pada kopling dan selang
7.	Resucitator	2	0	-2		
8.	Megaphone	2	1	-1	Baik	
9.	*Handy Talky* (HT)	8	4	-4	4 rusak	Dalam perbaikan
10.	Tandu	45	42	-3	40 Baik 2 Rusak	
11.	Helmet	24	4	-20	1 baik 3 rusak	Kerusakan pada salah satu komponen
12.	Selimut Tahan Api (*Fire Blanket*)	4	6	2	Baik	
13.	Exhaust Fan	1	1	0	Rusak	Kerusakan pada busi
14.	Nozzle Foam	2	2	0	Baik	
15.	Kantong Mayat	50 % dari total pax Pesawat terbesar yang beroperasi	27	-66	24 Baik 3 rusak	Kerusakan pada resleting
16.	DP *Portable* (Ukuran 3,6, 9 kg)	10	21	11	19 Baik 2 Rusak	
17.	Binocular	2	2	0	1 Baik 1 Rusak	Kerusakan pada lensa
18.	Helmet Dilengkapi Dengan Kamera (Video)	2	0	-2		

Tabel 14. Pakaian pelindung dan peralatan bantu pernapasan

No	Pakaian pelindung dan alat bantu pernafasan	Standar	Existing	Gap
1	Baju tahan panas (Proximity Suites)	18	10	-8
2	respiratory equipment	18	0	-18

Jumlah pakaian pelindung dan peralatan bantu pernapasan sesuai dengan jumlah personel seperti pada tabel 14.

Berdasarkan pada tabel 14 dapat diketahui pakaian pelindung keselamatan kerja dan peralatan bantu pernapasan masih belum memenuhi standar yang ada.

Tabel 15. Analisis response time Januari – Juli 2022

Bulan	Tgl	Data kendaraan		Catatan Waktu			Response time		Rerata waktu response time (Detik)	Prosentase RT (%)
		Merek	Kode	Terima info	Start	Finish	Menit	Detik		
Januari	23	Mercy	F01	09:20:00	09:20:20	09:21:39	00:01:39	99	99	145
Februari	15	Mercy	F01	15:30:00	15:30:20	15:31:42	00:01:42	102	102	143
Maret	20	Hino	F02	10:50:00	10:50:20	10:51:49	00:01:49	109	99	145
	27	Iveco	F03	12:40:00	12:40:20	12:41:29	00:01:29	89		
April	24	Hino	F02	09:10:00	09:10:20	09:11:36	00:01:36	96	96	147
Mei	29	Mercy	F01	09:28:00	09:28:20	09:29:12	00:01:12	72	72	160
Juni	19	Iveco	F03	10:30:00	10:30:20	10:31:47	00:01:47	107	107	141
Juli	24	Hino	F02	13:30:00	13:30:20	13:31:47	00:01:47	107	107	141
Rata-Rata									97	146

f. Hasil Analisis Personel PKP-PK

Berdasarkan Peraturan KP 14 Tahun 2015, penghitungan kebutuhan personel PKP-PK Bandar Udara *per-shift* berdasarkan jumlah kendaraan utama dan pendukung, untuk kendaraan cadangan (*back-up*) tidak diperhitungkan. Untuk setiap kendaraan utama harus dioperasikan paling sedikit 3 (tiga) orang personel PKP-PK, dan untuk kendaraan pendukung harus dioperasikan minimum 2 (dua) orang personel PKP-PK[5].

PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi memiliki 4 (kendaraan utama) dengan kondisi yang baik yaitu kendaraan *foam tender* 1, *foam tender* 2, *foam tender* 3, dan kendaraan RIV (*rapid intervention vehicle*). Untuk kendaraan pendukung, 1 unit ambulance.

PKP-PK juga memerlukan teknisi pemeliharaan untuk kegiatan pencegahan (preventive) dan perbaikan (corrective) yang dihitung menggunakan metode allotment hours per tahun. Dimana untuk PKP-PK kategori 6 sudah diketahui kebutuhan teknik pemeliharaannya sebanyak 1 (satu) personel [5].

Berdasarkan data kendaraan utama dan kendaraan pendukung yang ada di PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi dengan jumlah *shift* kerja dalam satu hari 1 *shfit*. Penentuan kebutuhan jumlah personel PKP-PK Bandar (5), maka Jumlah Minimum Personel (JMP) sebanyak 15 Personel per *shift*. Saat ini personel PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi dalam per *shift* kerja per hari berjumlah 9 personel sehunggan ada kekurangan 6 personel untuk memenuhi jumlah minimum personel.

g. Hasil Analisis Perhitungan Response Time

Dalam menangani suatu *incident* maupun ac*cident* PKP-PK wajib mencapai *Response time* (waktu bereaksi) tidak lebih dari 3 (tiga) menit ke setiap area pergerakan pesawat udara (*movement area*) pada kondisi jarak pandang optimum dan permukaan jalan yang dilalui dalam kondisi baik, dihitung dari awal diterimanya pemberitahuan atau diketahuinya adanya kecelakaan pesawat udara oleh unit PKP-PK sampai dengan kendaraan PKP-PK menempatkan posisinya untuk melaksanakan pemadaman dan siap memancarkan bahan pemadam busa minimal 50% dari rata-rata pancaran (*discharge rate*) yang di per syaratkan sesuai kategori Bandar Udara untuk PKP-PK [5]. Perhitungan persentase pencapaian rata-rata *response time* (5) di PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi selama 7 (tujuh) bulan terakhir seperti pada tabel 15.

Tabel 16. Perbandingan jawaban responden variabel X dengan hasil observasi

Pernyataan	Kesamaan	Perbedaan	Keterangan	Tindak Lanjut
X.1	√		Berdasarkan pernyataan X.1 responden dan hasil analisis bahwa kategori PKP-PK sudah sesuai dengan peraturan.	Sudah Sesuai Standar
X.2		√	Berdasarkan Pernyataan X.2 rata-rata responden menjawab netral sedangakan hasil analisis PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi masih terdapat beberapa fasilitas pelayanan darurat yang jumlahnya belum sesuai dengan yang ada di peraturan	Perlu pemenuhan standar
X.4		√	Berdasarkan pernyataan X.4 responden menjawab setuju kalau kendaraan sudah sesuai dengan peraturan. Hasil analisis masih terdapat kekurangan pada kendaraan pendukung.	Perlu pemenuhan standar
X.5		√	Berdasarkan pernyataan X.5 respoden setuju bandar PKP-PK sudah menyediakan peralatan pendukung untuk setiap kendaraan sesuai peraturan. Hasil analisis jumlah peralatan pendukung masih ada yang belum terpenuhi.	Perlu pemenuhan standar
X.6	√		Berdasarkan pertanyaan X.6 responden dan hasil observasi bahwa kebutuhan foam konsentrat sebagai bahan pemadam api utama sudah sesuai dengan peraturan.	Sudah Sesuai Standar
X.8	√		Berdasarkan pertanyaan X.8 responden dan hasil observasi bahwa PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi sudah menyediakan tempat penyimpanan dan pemeliharaan cadangan bahan pemadam sesuai dengan prosedur.	Sudah Sesuai Standar
X.9	√		Berdasarkan pertanyaan X.9 responden dan hasil observasi bahwa sudah menyediakan ruangan *fire station* yang sesuai dengan di peraturan. Namun terkait ruangan *watch room* di PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi belum dimanfaatkan secara maksimal.	Perlu pemenuhan standar
X.10	√		Berdasarkan pertanyaan X.10 responden tidak setuju sedangkan dari hasil analisis *watch room* PKP-PK sudah ada namun belum memadai.	Perlu pengotmalan
X.11	√		Berdasarkan pertanyaan X.11 responden dan hasil analisis bahwa jumlah personel PKP-PK masih terdapat kekurangan belum memenuhi kebutuhan personel PKP-PK per *shift* untuk kategori 6.	Perlu pemenuhan standar
X.13	√		Berdasarkan pertanyaan X.13 responden dan hasil analisis bahwa perhitungan waktu bereaksi selama 7 bulan terakhir menunjukkan nilai rata-rata pencapaian target *respon time* sebesar .	Sudah Sesuai Standar
X.14	√		Berdasarkan pertanyaan X.14 responden dan hasil analisis bahwa menghadapi situasi keadaan darurat personel PKP-PK sudah melakukan latihan yang cukup.	Sudah Sesuai Standar
X.15	√		Berdasarkan pertanyaan X.15 responden dan hasil analisis sudah tersedianya alat untuk memudahkan mendapatkan informasi dari tower ke ARRF *station*.	Sudah Sesuai Standar

Tabel 17. Perbandingan jawaban responden variabel Y dengan hasil observasi

Pernyataan	Kesamaan	Perbedaan	Keterangan	Tindak Lanjut
Y.1	√		Berdasarkan pernyataan Y.1 responden dan hasil analisis bahwa PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi sudah tersedia dokumen penanggulangan keadaan darurat (*contingency plan*).	Sudah Sesuai Standar
Y.2	√		Berdasarkan Pernyataan Y.2 responden dan hasil analisis bahwa personel PKP-PK sudah memahami prosedur yang ada dalam menghadapi penanggulangan keadaan darurat.	Sudah Sesuai Standar
Y.3	√		Berdasarkan Pernyataan Y.3 responden dan hasil analisis bahwa personel PKP-PK sudah melakukan latihan penanggulangan keadaan darurat seperti latihan *tabel top*, latihan parsial, latihan modular, dan latihan skala penuh secara berkala.	Sudah Sesuai Standar
Y.4	√		Berdasarkan pernyataan Y.5 responden dan hasil observasi bahwa Bandar Udara Banyuwangi sudah menyediakan pusat operasi penanggulangan keadaan darurat, sesuai dengan peraturan KP 479 tahun 2015.	Sudah Sesuai Standar
Y.5	√		Berdasarkan pertanyaan Y.6 responden dan hasil observasi bahwa Bandar Udara Banyuwangi sudah membuat dan memiliki *grid map.*	Sudah Sesuai Standar

Dari tabel 15 bahwa hasil uji *Response Time* yang dilaksanakan di Bandar Udara Internasional Banyuwangi telah memenuhi target sesuai dengan yang ada di peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 14 Tahun 2015.

h. Hasil Analisis Staatistik Diskriptif Respondem

Analisis statistik deskriptif digunakan untuk mendeskripsikan data yang telah terkumpul sebagai mana adanya, dengan harapan untuk mendapatkan tanggapan dari para personel PKP-PK terkait keadaan yang ada saat ini. Tanggapan dari para personel nantinya akan di bandingkan dengan ketentuan peraturan.

1) Variabel X

Berdasarkan jawaban responden terkait variabel X dihubungkan dengan hasil analisis data yang didapatkan dari dokumen PK-PK dan hasil observasi seperti pada tabel 16.

Berdasarkan tabel 16 diketahui ada beberapa fasilitas pelayanan darurat yang perlu ditindak lanjuti agar sesuai dengan peraturan yang ada dan bisa meningkatkan kesiapan PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi. Fasilitas yang perlu ditindak lanjuti adalah kendaraan pendukung, peralatan pendukung, peralatan penunjang, pakaian pelindung dan peralatan bantu pernafasan, *Watch room*, dan jumlah personel.

2) Variabel Y

Berdasarkan jawaban responden terkait variabel penanggulangan keadaan darurat atau variabel Y dihubungkan dengan hasil analisis pada dokumen PK-PK dan hasil observasi seperti pada tabel 17.

Tabel 18. Risk matrix FAA

			Saverity				
			No Safety Effect	**Minor**	**Major**	**Hazardous**	**Catastrophic**
			1	2	3	4	5
Like lihood	**Frequent**	5					
	Probable	4			1	3,4,5,6	
	Remote	3					
	Extremely Remote	2					
	Extremely Improbable	1					

Berdasarkan tabel 17 diketahui bahwa dokumen penanggulangan keadaan darurat, pusat operasi serta grid map sudah tersedia sesuai peraturan. Demikian juga personel sudah memahami prosedur menghadapi penanggulangan keadaan darurat dan sudah melakukan latihan penanggulangan keadaan darurat.

3. Hasil Analisis Jawaban Responden Terkait Hazard

Sebelum melakukan pemetaan risiko di PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi, terlebih dahulu melakukan observasi dan wawancara kepada narasumber terkait risiko apa saja yang pernah terjadi dan apa saja yang dapat menimbulkan risiko. Berdasarkan hasil wawancara dengan personel teridentifikasi sebanyak 6 peristiwa risiko yang berpotensi terjadi pada unit PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi. Peristiwa risiko yang berhasil diidentifikasi selanjutnya dilakukan penilaian dengan cara penyebaran kuesioner untuk mendapatkan jawaban subjektif dari para personel PKP-PK. Kuesioner dibagi menjadi dua bagian, yaitu kemungkinan kejadian dan dampak. Penilaian menggunakan skala 1-5 sebagai mana yang telah menjadi *rule of thumb* metode FAA. Kuesioner kemudian diuji validitas dan reliabilitasnya dengan hasil sudah valid dan reliable seperti pada tabel 2 dan tabel 3. Untuk peristiwa resiko nomor 2 tidak valid sehingga untuk selanjutnya tidak dilakukan analisis.

Analisis statistik deskriptif dilakukan dengan menghitung rata-rata tanggapan personel PKP-PK terhadap 5 peristiwa resiko, yakni pada kemungkinan kejadian maupun dampak. Kemudian pemetaan risiko dengan menempatkan ke dalam tabel *risk matrix* FAA. Pemetaan dilakukan dengan memasukkan nilai rata-rata yang telah dibulatkan pada zona merah, kuning dan, hijau. Hasil analisis pemetaan risiko menggunakan tabel *Risk matrix* FAA seperti pada tabel 18.

Berdasarkan tabel 18 semua risiko yang berada di zona merah dicatat dalam daftar risiko potensial lalu diurutkan berdasarkan RPN (kemungkinan kejadian dikali dampak). Perhitungan RPN ditunjukkan pada tabel 19.

Berdasarkan tabel 19 diketahui pemetaan risiko bahaya kebakaran pada unit PKP-PK terdapat 4 (empat|) peristiwa risiko yang terdapat pada zona merah dengan total nilai RPN tertinggi dengan nilai 16 sebanyak 4 (empat) peristiwa.

Tabel 19 RPN untuk Peristiwa Risiko

No	Nama Peristiwa Risiko	Likelihood (LL)	Saverity (S)	RPN
1	Personel tidak memakai APD saat melaksanakan tugas	4	4	16
2	Kebakaran di terminal	4	4	16
3	Adanya brid strike ketika pesawat akan take off / landing.	4	4	16
4	Gangguan layang-layang.	4	4	16

4. Kesimpulan

1) Tingkat kesiapan PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi sudah memenuhi kategori minimum 5 sesuai Peraturan KP nomor 14 Tahun 201, saat ini sudah menggunakan kategori 6; 2) PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi belum semua tersedia fasilitas pelayanan darurat yang sesuai dengan peraturan Nomor KP 14 Tahun 2015. Fasilitas yang belum memenuho adalah kendaraan pendukung, peralatan pendukung, peralatan penunjang, peralatan bantu pernafasan, belum dimanfaatkannya *watch room* yang ada; 3) Jumlah personel PKP-PK saat ini juga belum memenuhi standar dan kekurangan jumlah personil sebanyak 6 personil per *shift*; 4) Waktu bereaksi (*response time*) PKP-PK Bandar Udara Banyuwangi sudah sesuai dengan yang di per syaratkan di peraturan. Rata-rata pencapaian waktu bereaksi selama tujuh bulan adalah 1 menit 37 detik, dan persentase pencapaian target sebesar 146%; 5) Pada Bandar Udara Banyuwangi terdapat 4 peristiwa risiko yang mempunyai potensi bahaya yaitu: Personel tidak memakai APD saat melaksanakan tugas, kebakaran di terminal, adanya *brid strike*, dan gangguan layang-layang; 6) Berdasar hasil uji korelasi kendall diketahui terdapat hubungan antara kesiapan dan penanggulangan keadaan darurat. Maka perlu meningkatkan kesiapan PKP-PK agar penanggulangan keadaan darurat juga dapat meningkat. Upaya yang dapat dilakukan adalah menambah fasilitas pelayanan darurat yang masih belum sesuai dengan peraturan, menambah jumlah personel, atau memaksimalkan personel yang ada dengan latihan, pembelajaran dokumen penanggulangan keadaan darurat dan *table top*, serta membuat perencanaan sistem pengendalian 4 (empat) peristiwa risiko potensi bahaya.

Daftar Pustaka

[1] A. Zazili, "Perlindungan Hukum Terhadap Penumpang Pada Transportasi Udara Niaga Berjadwal Nasional", Diss. program Pascasarjana Universitas Diponegoro, 2008.

[2] W. H. Prabowo, "*Hari ini dalam sejarah: Pesawat Garuda Terbakar di Yogyakarta*. Diambil kembali dari https://www.kompas.com/tren/read/2021/03/07/091453165/hari-ini-dalam-sejarah-pesawat-garuda-terbakar-di-yogyakarta-21-orang-tewas?page=all", 2021.

[3] T. P. Jaya, "Pesawat Lion Air yang Tergelincir di Bandara Radin Intan II Lampung Sudah Dievakuasi. Diambil kembali dari https://regional.kompas.com/read/2020/12/21/16243481/pesawat-lion-air-yang-tergelincir-di-bandara-radin-intan-ii-lampung-sudah", 2020.

[4] Undang-undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 Tentang Penerbangan, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4956. Jakarta: Sekretariat Negara, 2009

[5] Direktur Jenderal Perhubungan Udara, "Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara Nomor KP 14 Tahun 2015 Tentang Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Manual of Standard CASR Part 139) Volume IV Pelayanan (PKP-PK)". Jakarta: Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2015

[6] L. Kustoro, "Peranan Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK) Kaitanya dengan Keselamatan Penerbangan di Bandara Sepinggan-Balikpapan", Warta Ardhia, Vol. 34, No.2, pp. 42-158, 2008.

[7] N. Sutjatmiko, "Upaya Penanggulangan Bahaya Kebakaran di Landasan Pacu Bandara Internasional Juanda Surabaya", Diss. Universitas Airlangga, 2012.

[8] Direktur Jenderal Perhubungan Udara, "Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 172 Tahun 2017 tentang Petunjuk Teknis Pengawasan Rencana Penanggulangan Keadaan Darurat Bandar Udara (Airport Emergency Plan) dan Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK)". Jakarta: Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2017

[9] Sugiyono, "Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D", Bandung: Alfabeta, 2013.

[10] A. W. Kurniawan., and Z Puspitaningtyas, "Metode Penelitian Kuantitatif." Yogyakarta: Pandiva Buku, 2016.

[11] S. Setiaman, "Merancang kuesioner untuk penelitian." Jakarta: PPNIQATAR, 2020.

[12] M. Priyono, "Metode penelitian kuantitatif", Sidoarjo: Zifatma Publishing, 2016.

[13] S. Siegel, "Nonparametric statistics for the behavorial sciences", McGraw-Hill, 1956.

[14] FAA,"U.S Department of Transportation Federal Aviation Administration Nation Policy". U.S.A: U.S Department of Transportation, 2017

[15] U. Silalahi, "Metodologi Analisis Data dan Interpretasi Hasil untuk Penelitian Sosial Kuantitatif", Bandung: Reflika Aditama, 2018