

Analisis pengaruh beban siklis terhadap fatigue dan deformasi baling-baling drone menggunakan metode elemen hingga

Syaiful Arif^{a,*}

^aTeknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang,
Jl. Raya Jakarta km 5 No. 6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten 42183

^{a*}E-mail: dosen10017@unpam.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.23969/ksjme.v2i1.42076>

Received: 27 Januari 2026; Revised: 26 March 2026; Published: 6 April 2026

Abstract. This study aims to analyze the fatigue and deformation of drone propellers made of carbon fiber using the Finite Element Method (FEM) through ANSYS simulation. The applied loads include the drone weight of 3.6 kg and additional loads of 0.5 kg and 0.75 kg, distributed evenly across six propellers. Simulation results indicate that the propellers' fatigue life remains within a safe range, with a maximum time of approximately 107 s, although the propeller tips are critical areas with the lowest safety factor, indicating a higher risk of failure. The deformation distribution shows that the middle section of the propeller remains relatively safe under load, while the tips experience stress concentration due to combined loads and airflow interaction. This study provides a basis for reinforcing critical areas of the propeller design and recommends further research to evaluate the effects of propeller shape variations and more complex flight conditions. The results are expected to enhance the fatigue life and operational safety of carbon fiber drone propellers.

Keywords: Drone, Propeller, Fatigue, Deformation, Finite Element Method, ANSYS, Carbon Fiber.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fatigue dan deformasi baling-baling drone berbahan carbon fiber menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) melalui simulasi ANSYS. Beban yang digunakan mencakup berat drone sebesar 3,6 kg dan variasi beban tambahan 0,5 kg serta 0,75 kg, yang dibagi merata ke enam baling-baling. Hasil simulasi menunjukkan bahwa fatigue life baling-baling berada dalam batas aman dengan waktu maksimal sekitar 107 s, meskipun ujung baling-baling menjadi area kritis dengan safety factor terendah, menunjukkan risiko keretakan lebih tinggi pada bagian tersebut. Distribusi deformasi memperlihatkan bahwa bagian tengah baling-baling relatif aman terhadap beban, sementara ujung mengalami konsentrasi tegangan akibat kombinasi beban dan interaksi dengan udara. Penelitian ini memberikan dasar untuk memperkuat desain baling-baling pada area kritis serta merekomendasikan penelitian lanjutan untuk evaluasi pengaruh variasi bentuk baling-baling dan kondisi penerbangan yang lebih kompleks. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan umur fatigue dan keamanan operasional baling-baling drone berbahan carbon fiber.

Kata kunci: Drone, Baling-Baling, Fatigue, Deformasi, Metode Elemen Hingga, ANSYS, Carbon Fiber.

PENDAHULUAN

Drone merupakan pesawat tanpa awak yang saat ini semakin populer di berbagai bidang, baik industri maupun militer. Keunggulan drone terletak pada kemampuannya menjangkau lokasi yang sulit diakses, karena desainnya yang kecil, ringan, dan dapat dikendalikan dari jarak jauh [1]. Seiring perkembangan teknologi, penerapan drone mulai meluas ke kebutuhan sipil, khususnya di bidang bisnis, industri, dan logistik. Salah satu penerapan yang nyata adalah penggunaan drone untuk pengiriman barang, yang pertama kali banyak diterapkan di Amerika Serikat [2]. Misalnya, perusahaan Walgreens bekerja sama dengan Wing

untuk melakukan pengiriman berbasis drone di wilayah Dallas-Fort Worth, Texas. Tren ini membuka peluang bagi perusahaan lain untuk mengadopsi teknologi serupa, sehingga potensi perkembangan drone di masa depan diperkirakan semakin pesat [3], [4].

Drone terdiri dari beberapa komponen penting yang saling mendukung, antara lain badan drone, baling-baling, dan mesin. Baling-baling menjadi salah satu komponen paling krusial karena berperan dalam menentukan kemampuan terbang drone, mengendalikan kecepatan, serta arah gerak drone [4], [5]. Bentuk dan ukuran baling-baling dapat bervariasi sesuai dengan fungsi drone dan berat muatan yang dibawa. Selain itu, baling-baling harus

mampu menahan gaya yang timbul selama operasi, termasuk beban drone itu sendiri, beban tambahan, dan interaksi dengan udara sekitar. Oleh karena itu, pemilihan material dan desain baling-baling menjadi faktor penting dalam memastikan keamanan dan efisiensi operasional drone [6].

Perkembangan dunia material turut mendukung inovasi pada komponen drone, terutama baling-baling. Material baru seperti serat karbon dan plastik ABS mulai banyak diaplikasikan [7]. Serat karbon adalah material komposit unggul yang memiliki ketahanan fatigue tinggi, kemampuan pemulihan elastis yang baik, dan tidak mudah patah di bawah beban [8], [9]. Keunggulan tersebut membuat serat karbon banyak digunakan pada industri penerbangan dan berbagai produk industri lainnya. Plastik ABS, yang tersusun dari Acrylonitrile, Butadiene, dan Styrene, memiliki ketahanan terhadap panas, bahan kimia, kejutan, serta kekakuan yang tinggi [10]. Material ini mulai diterapkan dalam berbagai komponen industri karena sifatnya yang ringan, kuat, dan relatif mudah diproses. Pemilihan material yang tepat sangat penting untuk memastikan baling-baling mampu menahan beban operasional sekaligus memberikan umur pakai yang panjang [10], [11].

Dalam menganalisis perilaku baling-baling drone, metode numerik menjadi salah satu pendekatan yang efektif. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) merupakan metode numerik yang dapat menyelesaikan persamaan diferensial, baik persamaan diferensial biasa maupun parsial [12]. Metode ini banyak diterapkan untuk memecahkan masalah di berbagai bidang engineering, termasuk mekanika benda padat (*solid mechanics*), mekanika fluida (*fluid mechanics*), perpindahan panas (*heat transfer*), dan analisis struktur [13]. Dengan menggunakan FEM, distribusi tegangan, deformasi, fatigue life, dan safety factor pada baling-baling drone dapat dianalisis secara detail, sehingga area kritis yang berpotensi mengalami kerusakan dapat diidentifikasi [14].

Penggunaan metode simulasi ini memungkinkan perancangan baling-baling yang lebih aman, efisien, dan tahan lama [15], [16]. Analisis numerik dengan ANSYS, sebagai salah satu software FEM, memberikan informasi penting terkait distribusi tegangan, konsentrasi gaya, dan umur fatigue baling-baling di berbagai kondisi beban [16]. Desain baling-baling dapat diperkuat pada area kritis, meminimalkan risiko kegagalan selama operasi, serta mendukung perkembangan drone

untuk berbagai aplikasi industri dan logistik di masa depan.

METODOLOGI

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis fatigue dan deformasi baling-baling drone berbahan carbon fiber menggunakan metode elemen hingga (FEM) melalui simulasi ANSYS [17], [18]. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, perancangan model baling-baling, simulasi beban pada ANSYS, analisis hasil fatigue life dan safety factor, serta validasi data dengan teori dan studi sebelumnya.

Tahapan penelitian secara rinci

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data geometri baling-baling dan material carbon fiber yang digunakan. Selanjutnya dibuat model 3D baling-baling menggunakan software CAD [18]. Model kemudian diimpor ke ANSYS untuk dilakukan simulasi beban sesuai kondisi operasional drone, termasuk beban dasar drone (3,6 kg) dan beban tambahan (0,5 kg dan 0,75 kg). Hasil simulasi berupa distribusi deformasi, tegangan, fatigue life, dan safety factor dianalisis untuk menentukan area kritis dan umur material. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan referensi material carbon fiber dan teori fatigue yang ada.

Material dan Peralatan

Material utama yang digunakan adalah baling-baling drone berbahan carbon fiber, yang memiliki sifat ringan dan tahan terhadap tegangan siklis [2]. Peralatan yang digunakan meliputi komputer dengan software ANSYS untuk analisis elemen hingga, software CAD untuk perancangan model 3D baling-baling, serta timbangan untuk mengukur berat komponen drone. Lokasi penelitian berada di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Pamulang, yang dilengkapi dengan fasilitas komputer dan software simulasi.

Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data dikumpulkan melalui pengukuran fisik komponen drone dan studi literatur terkait sifat material carbon fiber [4]. Data pengolahan dilakukan dalam bentuk simulasi numerik menggunakan ANSYS, dengan variasi beban yang berbeda untuk melihat pengaruhnya terhadap deformasi dan fatigue life baling-baling. Setiap hasil simulasi dianalisis untuk menentukan distribusi tegangan, safety factor, dan prediksi umur material.

Validasi Data

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan nilai referensi fatigue dan deformasi material carbon fiber dari literatur serta standar keselamatan drone [5]. Analisis ini memastikan bahwa simulasi memberikan hasil yang logis dan dapat dijadikan acuan untuk desain baling-baling yang lebih aman dan tahan lama.

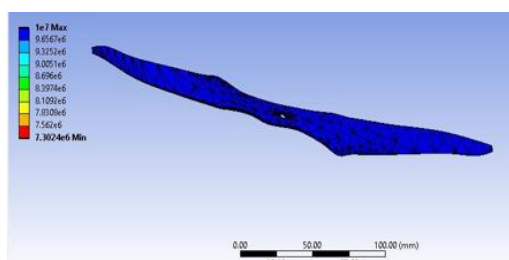
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi Ansys Bahan Carbon Fiber

Simulasi baling-baling drone dilakukan menggunakan software ANSYS dengan beban awal sebesar 3,6 kg, yang mencakup total berat drone, termasuk komponen, sensor, dan kerangka. Penelitian ini melakukan tiga variasi beban, yaitu beban dasar drone, tambahan 0,5 kg, dan tambahan 0,75 kg. Setiap beban dikalikan dengan percepatan gravitasi dan dibagi merata ke enam baling-baling, sehingga gaya yang bekerja secara berturut-turut adalah 5,88 N, 6,6967 N, dan 7,105 N. Metode elemen hingga digunakan untuk menganalisis deformasi, distribusi tegangan, fatigue life, dan safety factor baling-baling berbahan carbon fiber. Hasil simulasi menunjukkan bahwa fatigue life baling-baling masih berada dalam batas aman, dengan waktu maksimal sekitar 107 s. Namun, ujung baling-baling menjadi area kritis dengan safety factor terendah, menandakan risiko keretakan lebih tinggi dibanding bagian tengah[4], [5]. Distribusi deformasi menunjukkan bahwa bagian tengah baling-baling relatif aman, sedangkan ujung mengalami konsentrasi tegangan akibat kombinasi beban dan interaksi dengan udara selama operasi[7]. Hasil ini memberikan informasi penting untuk memperkuat desain baling-baling pada area kritis serta merekomendasikan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi pengaruh variasi bentuk baling-baling dan kondisi penerbangan yang lebih kompleks, sehingga umur fatigue dan keamanan operasional dapat meningkat secara optimal.

Fatigue dengan beban 3,6 Kg

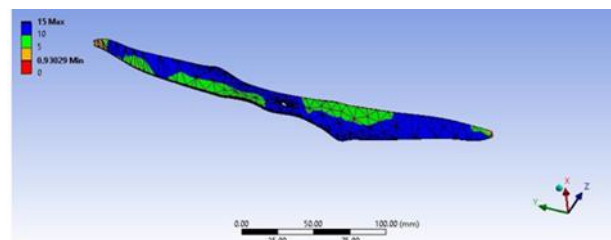
Berikut merupakan hasil simulasi dengan beban 3.6 kg dan gaya yang bekerja adalah 5,88 N pada bahan carbon, terlihat gambar 1



Gambar 1. Fatigue life force

Berdasarkan hasil simulasi ANSYS, fatigue life baling-baling drone berbahan carbon fiber dianalisis untuk tiga variasi beban. Pada beban awal sebesar 3,6 kg, gaya yang bekerja pada setiap baling-baling adalah 5,88 N. Hasil simulasi menunjukkan warna biru pada seluruh bagian baling-baling, yang menandakan waktu maksimal mencapai 107 s atau setara dengan 3 bulan 25 hari 17 jam 46 menit 40 detik, sedangkan waktu minimal tercatat sebesar $7,3024 \times 10^6$ s atau setara dengan 2 bulan 24 hari 12 jam 27 menit 40 detik. Simulasi ini juga menampilkan safety factor, di mana ujung baling-baling menunjukkan warna oranye dengan nilai terendah, menandakan risiko keretakan lebih tinggi, sedangkan bagian tengah berwarna hijau hingga biru memiliki safety factor lebih tinggi dan relatif aman.

Pada beban tambahan 0,5 kg dan 0,75 kg, gaya yang bekerja meningkat menjadi 6,6967 N dan 7,105 N, dan distribusi fatigue life tetap menunjukkan warna biru pada sebagian besar baling-baling. Namun, nilai minimal fatigue life menurun, menunjukkan area kritis lebih cepat mengalami kerusakan. Safety factor pada ujung baling-baling juga menurun seiring bertambahnya beban, sedangkan bagian tengah tetap aman. Hasil ini menunjukkan konsentrasi tegangan terjadi pada ujung baling-baling akibat kombinasi beban dan interaksi dengan udara, sehingga area ini menjadi fokus perbaikan desain untuk meningkatkan umur fatigue dan keamanan operasional baling-baling drone, terlihat gambar 2



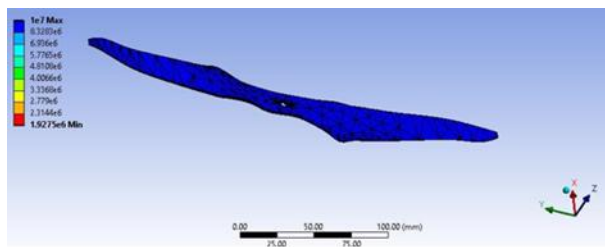
Gambar 2 Safety factor fatigue force 5,88 N

Berdasarkan hasil simulasi ANSYS (Gambar 2), distribusi safety factor pada baling-baling drone menunjukkan variasi warna pada setiap bagian. Ujung baling-baling ditandai dengan warna oranye, yang menunjukkan nilai safety factor sebesar 0,93029, menandakan area ini paling kritis dan berisiko mengalami keretakan[8]. Bagian sisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi yang lebih rendah ditampilkan dengan warna hijau, menunjukkan nilai safety factor antara 5 hingga 10, sedangkan bagian tengah atau sisi yang lebih aman ditandai dengan warna biru, dengan nilai safety

factor antara 10 hingga 15. Distribusi warna ini memberikan informasi penting mengenai lokasi konsentrasi tegangan, sehingga area kritis pada ujung baling-baling dapat menjadi fokus perbaikan desain untuk meningkatkan keamanan dan umur fatigue baling-baling.

Fatigue dengan beban tambahan 0,5 Kg

Hasil simulasi dengan beban 4,1 kg pada baling-baling berbahan carbon fiber menunjukkan gaya kerja sebesar 6,6967 N. Analisis fatigue dan safety factor dilakukan untuk menilai distribusi tegangan, area kritis, dan umur material, sehingga dapat menentukan bagian baling-baling yang membutuhkan penguatan atau perbaikan desain. terlihat gambar 3

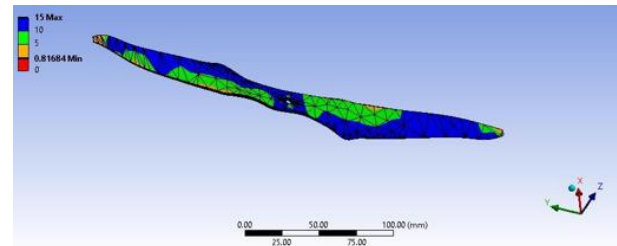


Gambar 3. Fatigue life force

Simulasi baling-baling drone berbahan karbon fiber dilakukan menggunakan software ANSYS dengan tiga variasi beban. Beban dasar drone sebesar 3,6 kg menghasilkan gaya 5,88 N pada setiap baling-baling. Hasil fatigue life menunjukkan seluruh baling-baling berwarna biru, menandakan waktu maksimal sekitar 107 s atau setara dengan 3 bulan 25 hari 17 jam 46 menit 40 detik, sedangkan waktu minimal tercatat sebesar $7,3024 \times 10^6$ s atau 2 bulan 24 hari 12 jam 27 menit 40 detik. Distribusi *safety factor* menunjukkan variasi warna pada setiap bagian: ujung baling-baling berwarna oranye dengan nilai 0,93029, menandakan area kritis yang paling rentan terhadap keretakan, bagian sisi berwarna hijau memiliki nilai antara 5–10, dan bagian tengah berwarna biru dengan nilai 10–15, menunjukkan bagian ini relatif aman terhadap beban.

Untuk beban tambahan 0,5 kg (gaya 6,6967 N), fatigue life masih ditunjukkan dengan warna biru pada sebagian besar area, dengan waktu maksimal tetap 107 s dan waktu minimal $1,9275 \times 10^6$ s atau setara dengan 22 hari 7 jam 25 menit. Safety factor pada ujung baling-baling menurun menjadi 0,81684, sedangkan bagian tengah tetap relatif aman. Selanjutnya, beban tambahan 0,75 kg (gaya 7,105 N) menunjukkan tren serupa, dengan fatigue life tetap dominan biru, waktu maksimal 107 s, dan waktu minimal $9,3613 \times 10^5$ s atau setara dengan 10 hari 20 jam 2 menit 10 detik. Safety factor pada

ujung menurun lebih lanjut menjadi 0,7699, sedangkan bagian tengah tetap aman. (terlihat gambar 4)

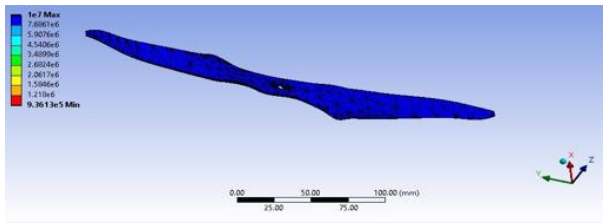


Gambar 4. Safety Factor Fatigue

Berdasarkan hasil simulasi ANSYS (Gambar 4), distribusi **safety factor** pada baling-baling drone berbahan karbon fiber menunjukkan variasi yang jelas pada setiap bagian. Ujung baling-baling ditandai dengan warna oranye, yang menunjukkan nilai safety factor sebesar 0,81684. Hal ini menandakan bahwa area ini merupakan bagian paling kritis dan berpotensi mengalami keretakan lebih cepat dibandingkan dengan bagian lain. Bagian sisi baling-baling yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi yang lebih rendah ditampilkan dengan warna hijau, dengan nilai safety factor berkisar antara 5 hingga 10, menunjukkan bahwa bagian ini relatif aman tetapi tetap memerlukan perhatian khusus jika beban meningkat. Sementara itu, bagian tengah dan sisi yang lebih stabil ditandai dengan warna biru, dengan nilai safety factor antara 10 hingga 15, menandakan area tersebut berada dalam kondisi aman dan mampu menahan beban secara optimal. Distribusi warna ini menggambarkan konsentrasi tegangan akibat kombinasi gaya dari beban drone, beban tambahan, dan interaksi dengan udara saat baling-baling berputar. Analisis safety factor ini penting sebagai dasar evaluasi desain baling-baling, khususnya untuk memperkuat bagian ujung yang lebih rentan. Dengan memahami distribusi safety factor, perbaikan desain dapat dilakukan agar umur fatigue baling-baling meningkat dan risiko kegagalan operasional dapat diminimalkan, sehingga drone dapat beroperasi dengan aman dan efektif.

Fatigue dengan beban tambahan 0,75 Kg

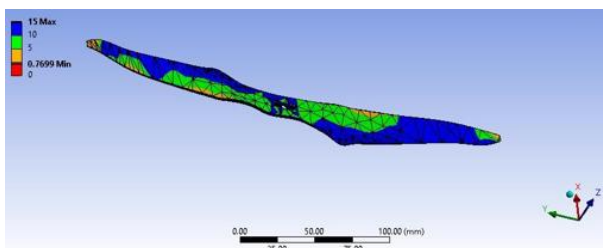
Berikut merupakan hasil simulasi dengan beban 4,35 kg dan gaya yang bekerja adalah 7,105 N pada bahan karbon (terlihat gambar 5).



Gambar 5. fatigue life force

Berdasarkan hasil simulasi ANSYS (Gambar 5), fatigue life baling-baling drone yang diberikan gaya sebesar 7,105 N ditunjukkan dengan warna biru pada seluruh area yang menerima beban. Warna biru ini menandakan waktu maksimal baling-baling mencapai 107 s, setara dengan 3 bulan 25 hari 17 jam 46 menit 40 detik, sedangkan waktu minimal tercatat sebesar $9,3613 \times 10^5$ s atau setara dengan 10 hari 20 jam 2 menit 10 detik. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa bagian utama baling-baling masih berada dalam batas aman terhadap kerusakan akibat fatigue, namun ujung baling-baling tetap menjadi area kritis yang lebih cepat mengalami keausan karena menerima konsentrasi tegangan terbesar.

Selain fatigue life, distribusi *safety factor* juga dianalisis untuk bahan dan bentuk yang sama. Safety factor memberikan informasi mengenai lokasi potensial terjadinya keretakan akibat kombinasi beban drone, beban tambahan, dan interaksi dengan udara selama operasi baling-baling. Bagian ujung baling-baling menunjukkan nilai safety factor lebih rendah dibandingkan dengan bagian tengah, menandakan risiko kerusakan lebih tinggi di area tersebut. Bagian tengah dan sisi lainnya relatif aman dengan nilai safety factor lebih tinggi. Hasil ini penting sebagai dasar evaluasi desain baling-baling untuk memperkuat area kritis dan meningkatkan umur fatigue. Selain itu, temuan ini memberikan rekomendasi bagi penelitian lanjutan, seperti mempelajari pengaruh variasi bentuk baling-baling atau kondisi penerbangan yang lebih kompleks, sehingga desain baling-baling dapat lebih aman, efisien, dan tahan lama selama operasional drone. (terlihat gambar 6)



Gambar 6. Safety Factor Fatigue

Berdasarkan hasil simulasi ANSYS (Gambar 6), distribusi *safety factor* pada baling-baling drone menunjukkan variasi warna yang berbeda pada setiap bagian. Ujung baling-baling ditandai dengan warna oranye, yang menunjukkan nilai safety factor sebesar 0,7699, menandakan area ini merupakan bagian paling kritis dan berpotensi mengalami keretakan. Bagian sisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi yang lebih rendah ditampilkan dengan warna hijau, dengan nilai safety factor antara 5 hingga 10, sedangkan bagian tengah atau sisi yang lebih stabil berwarna biru dengan nilai antara 10 hingga 15, menunjukkan area ini relatif aman. Perbedaan distribusi safety factor ini dipengaruhi oleh proses pemecahan udara saat baling-baling berputar. Bagian berwarna hijau merupakan area yang memecah udara padat sehingga menciptakan perbedaan kepadatan udara antara sisi atas dan bawah baling-baling.

Pada ujung baling-baling, terdapat dua kondisi yang memengaruhi distribusi gaya: pecahan kerapatan udara di bagian udara yang terkena baling-baling dan kepadatan udara pada bagian luar baling-baling. Kondisi ini terjadi dalam jarak sekitar 0,1 mm dari batas akhir baling-baling, sehingga ujung baling-baling menerima kombinasi gaya dari berat drone, beban tambahan, serta interaksi dengan udara sekitar atau gaya gravitasi normal. Analisis ini penting untuk mengetahui area kritis yang membutuhkan penguatan desain. Pemahaman terhadap distribusi safety factor dan interaksi udara ini dapat menjadi dasar pengembangan baling-baling yang lebih tahan lama, mengurangi risiko kegagalan, dan meningkatkan umur fatigue baling-baling drone selama operasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi ANSYS pada baling-baling drone berbahan carbon fiber dengan tiga variasi beban, dapat disimpulkan bahwa fatigue life baling-baling secara keseluruhan masih berada dalam batas aman, dengan waktu maksimal mencapai 107 s. Ujung baling-baling menjadi area kritis yang mengalami konsentrasi tegangan tertinggi dan memiliki safety factor terendah, sehingga berisiko mengalami keretakan lebih cepat dibandingkan dengan bagian tengah yang relatif aman. Penambahan beban 0,5 kg dan 0,75 kg menyebabkan penurunan nilai minimal fatigue life dan safety factor pada ujung baling-baling, namun distribusi deformasi di bagian tengah tetap stabil. Hasil ini menegaskan pentingnya penguatan desain pada ujung baling-baling untuk meningkatkan umur fatigue dan keamanan operasional. Analisis safety

factor dan distribusi tegangan juga menunjukkan pengaruh interaksi udara selama operasi, yang perlu diperhatikan dalam desain. Temuan ini dapat menjadi dasar penelitian lanjutan, seperti evaluasi variasi bentuk baling-baling, perubahan material, atau kondisi penerbangan yang lebih kompleks, agar desain baling-baling lebih aman, efisien, dan tahan lama selama operasional drone.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Laboratorium Komputer Teknik Mesin Universitas Pamulang beserta seluruh staf, yang telah menyediakan fasilitas, peralatan, dan lingkungan penelitian yang memadai sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan rekan-rekan yang telah memberikan dukungan moral, motivasi, dan

bantuan selama penelitian berlangsung. Semoga segala bantuan dan dukungan yang diberikan mendapat balasan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis bertanggung jawab penuh atas seluruh tahapan penelitian, mulai dari perancangan penelitian, pengumpulan data, pembuatan model 3D baling-baling drone, hingga pelaksanaan simulasi menggunakan ANSYS. Penulis juga melakukan analisis hasil fatigue, deformasi, dan safety factor, serta melakukan validasi data dengan literatur terkait. Penulis menyusun seluruh naskah laporan, termasuk pembahasan, kesimpulan, dan saran penelitian lanjutan, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan secara menyeluruh.

REFERENSI

- [1] S. W. Soputra, S. Tobing, and S. S. Rawikara, "Pemodelan Sistem Dinamik Dan Implementasi Simulink Pengendalian Kestabilan Unmanned Aerial Vehicle Multirotor Hexacopter Cargo," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 3, pp. 763–778, Dec. 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i3.1032. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i3.1032>
- [2] M. Y. Fikri Khairul Anwar, "Analisis Simulasi Performa Aerodinamis Mini Unmanned Aerial Vehicle Dengan Software Computational Fluids Dynamic," 2021. [Online]. Available: <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/ame/index>
- [3] J. Hasil Karya Ilmiah, R. Fadillah, A. Fauzan Zakki, and L. Struktur dan Konstruksi Kapal, "Analisa Fatigue Pada Kapal Tanker 6500 DWT Berdasarkan Common Structural Rules (CSR) berbasis Finite Element Analysis (FEA)," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 4, p. 588, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [4] T. Wahyuningsih, R. Ainul Hakim Suwondo, and Y. Wijayanti, "Studi Kelayakan Dalam Rangka Pemanfaatan Bangunan Auditorium Lama Tanpa Gambar Kerja Studi Kasus Gedung G PKN STAN," vol. 13, no. 1, 2025.
- [5] J. Hasil, K. Ilmiah, L. Perencanaan, and K. Dibantu Komputer, "Analisis Pengaruh Konfigurasi Perubahan Sudut Rake Propeller B5-80 Terhadap Fatigue Life pada Kapal Kontainer 3600 TEUs," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 3, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [6] A. S. Yunus Nasution and A. Muhammad, "Desain Dan Analisa Drone Penyemprot Pestisida Dengan Kapasitas Penyemprotan 0,5 Liter/Menit," *Jurnal Dinamis*, vol. 9, no. 2, pp. 12–21, Feb. 2020, [Online]. Available: <https://talenta.usu.ac.id/dinamis>. <https://doi.org/10.32734/dinamis.v9i2.7953>
- [7] J. Hasil, K. Ilmiah, R. Islahan, A. F. Zakki, and P. Mulyatno, "Analisa Pengaruh Modifikasi Sudut Skew Propeller B5-80 Terhadap Umur Kelelahan Pada Kapal Kriso Container 3600 TEUs," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 3, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [8] D. N. Azizah, A. Marasabessy, M. R. Hatuwe, P. Nasional, V. Jakarta, and J. Selatan, "Analisis Kerusakan Daun Baling-Baling Dan Metode Perawatan Yang Tepat," Jun. 2024.

- [9] M. N. M. Saniyyah Devi Pitaloka, “Studi Pengaruh Variasi Pengelasan Bracket terhadap Fatigue Life Struktur Kapal Patroli Cepat 40M Akibat Beban Gelombang,” *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 1, no. 10, Feb. 2020. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.61346>
- [10] A. Shodikin, I. Haryanto, and G. D. Haryadi, “Analisis Modal Dan Interaksi Struktur-Fluida Turbin Angin Savonius Menggunakan Metode Elemen Hingga,” Feb. 2025.
- [11] B. S. O. K. Muhammad Hanif An Naafi1, “Analisis Defleksi Beam Dengan Variasi Beban Dan Jenis Tumpuan Pada Beam Menggunakan Pengamatan Eksperimen, Analitis, Dan Simulasi Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 2, no. 1, Mar. 2024.
- [12] I. R. Putra *et al.*, “Perbandingan Metode Manufaktur Propeller Clark Y: 3d Printing Dan Silicone Molding,” *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 10, no. 2, pp. 202–214, Jul. 2025, doi: 10.20527/sjmekinematika.v10i2.713. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v10i2.713>
- [13] S. S. , E. Y. N. Erlangga, “Analisis Pembebanan Statis Pada Struktur Hexacopter Drone Untuk Pertanian (Druper),” *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, vol. 9, no. 1, Jan. 2023. <https://doi.org/10.35894/jtk.v9i1.100>
- [14] J. Hasil *et al.*, “Analisa Teknis Kekuatan dan Perbandingan Biaya Material Poros Baling-Baling Kapal Nelayan Daerah Batang Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 4, Mar. 2021, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [15] A. Lostari, E. Kumala Pramartaningthyas, D. Sugiono, M. Ulum, U. Kulsum, and Y. Hartono, “Evaluasi Performa Mesin Uji Fatigue Rotary Dengan Variasi Tumpuan Tetap Dan Gulir Pada Spesimen Stainless Steel 304,” Dec. 2025.
- [16] U. I. W. Usma, F. Setiawan, E. Sofyan, and Imama, “Pengaruh Ketebalan Manufaktur Frame Mini Drone 3d Printing Dengan Simulasi Stress, Displacement, Dan Safety Of Factor Menggunakan Software Solidworks,” *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol. 9, no. 2, pp. 359–369, Jan. 2024. <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i2.973>
- [17] M. Fitri, “Pengaruh Beban Lentur Pada Poros Stainless Steel Terhadap Siklus Kegagalan Fatik,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 09, no. 3, 2020. <https://doi.org/10.22441/jtm.v9i3.9877>
- [18] N. Aini, M. F. Noya, N. L. T. Thenu, and J. T. Mesin, “Estimasi Umur Dan Prediksi Perilaku Kelelahan Poros Baling-Baling Kapal Lct Andros,” *JURNAL ISOMETRI*, vol. 2, no. 2, Dec. 2023. <https://doi.org/10.30598/isometri.2023.2.2.107-117>