

PERANCANGAN *LIGHT-WEIGHT CONVERTIBLE FRAME BALANCE BIKE* DENGAN SISTEM PENYESUAIAN UKURAN PENGGUNA MENGGUNAKAN PENDEKATAN ULRICH

Osha Dea Ariyanti¹, Tri Andi Setiawan^{1*}, Anda Iviana Juniani¹, Putu Dana
 Karningsih²

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

²Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
 Surabaya, Indonesia

*Email: triandis@ppns.ac.id

Abstrak

Perancangan *lightweight convertible frame balance bike* ditujukan untuk anak usia 2 hingga 8 tahun dengan mengusung sistem modular pada bagian *frame*, *fork*, dan *chainstays* guna mengakomodasi pertumbuhan pengguna. Sistem modular ini memungkinkan penyesuaian panjang rangka dan ukuran roda secara fleksibel, sehingga komponen dapat diubah atau diganti sesuai kebutuhan. Spesifikasi utama desain meliputi material rangka Aluminium Alloy 6061, kapasitas beban maksimum 25 kg, serta kompatibilitas roda ukuran 12, 16, dan 20 inci. Tiga konsep desain dikembangkan dan dianalisis dari aspek struktural dan ergonomi. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh desain memiliki nilai *safety factor* di atas 2 pada kondisi *start-up* maupun *steady pedaling*, yang memenuhi standar kelayakan struktural. Dari sisi ergonomi, ketiga konsep masih berada dalam kategori yang dapat ditoleransi, dan kenyamanan pengguna dapat ditingkatkan melalui pengaturan posisi stang serta sadel. Proses perancangan dilakukan menggunakan pendekatan Ulrich secara sistematis, dimulai dari identifikasi kebutuhan, pengembangan konsep, hingga seleksi desain akhir. Pemilihan desain terbaik dilakukan dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), berdasarkan lima kriteria utama: bobot rangka, jumlah komponen, tegangan maksimum, defleksi maksimum, dan skor RULA. Berdasarkan hasil pembobotan, Konsep Desain 1 ditetapkan sebagai alternatif paling optimal dengan skor tertinggi sebesar 0,96. Rancangan ini membuktikan bahwa integrasi sistem modular, analisis struktural, evaluasi ergonomi, dan metode AHP mampu menghasilkan desain *balance bike* yang ringan, ergonomis, aman, dan adaptif terhadap pertumbuhan pengguna.

Kata kunci: *analytical hierarchy process*, *balance bike*, desain modular, ergonomi

Abstract

The design of a *lightweight convertible frame balance bike* is intended for children aged 2 to 8 years by adopting a modular system on the *frame*, *fork*, and *chainstays* to accommodate user growth. This modular system allows flexible adjustments of frame length and wheel size, so that components can be modified or replaced as needed. The main design specifications include a frame made of Aluminium Alloy 6061, a maximum load capacity of 25 kg, and compatibility with 12, 16, and 20-inch wheels. Three design concepts were developed and analyzed from structural and ergonomic aspects. The analysis results show that all designs have a *safety factor* above 2 under *start-up* and *steady pedaling* conditions, which meets structural feasibility standards. From an ergonomic perspective, all three concepts are still within tolerable categories, and user comfort can be improved by adjusting the handlebar and saddle positions. The design process was carried out systematically using the Ulrich approach, starting from need identification, concept development, to final design selection. The best design was selected using the *Analytical Hierarchy Process* (AHP) method, based on five main criteria: frame weight, number of components, maximum stress,

maximum deflection, and RULA score. Based on the weighting results, Concept Design 1 was determined as the most optimal alternative with the highest score of 0.96. This design proves that the integration of modular systems, structural analysis, ergonomic evaluation, and the AHP method is capable of producing a balance bike that is lightweight, ergonomic, safe, and adaptive to user growth.

Keywords: *analytical hierarchy process, balance bike, ergonomics, modular design*

PENDAHULUAN

Selain melatih keseimbangan dan koordinasi, *balance bike* terbukti mempercepat transisi menuju sepeda roda dua serta meningkatkan kepercayaan diri anak (Adrian, 2024). Tren ini juga didukung dengan munculnya komunitas-komunitas *balance bike* di berbagai daerah Indonesia yang berfungsi sebagai wadah pembinaan dan kompetisi (Chamidah et al., 2021). Secara global, industri *balance bike* mengalami pertumbuhan pesat dengan nilai pasar diproyeksikan naik dari 1,25 miliar USD pada tahun 2024 menjadi 1,35 miliar USD pada tahun 2025, dipengaruhi oleh meningkatnya kesadaran konsumen terhadap aktivitas fisik dan gaya hidup sehat (The Business Research Company, n.d.).

Meskipun demikian, *balance bike* konvensional memiliki keterbatasan karena kurang fleksibel menyesuaikan pertumbuhan antropometri anak. Produk yang ada di pasaran umumnya hanya dapat digunakan 2-4 tahun, sehingga orang tua harus mengganti sepeda seiring pertumbuhan anak (Mahendra & Dharmasti, 2020). Hal ini menimbulkan biaya tambahan, dan dalam beberapa kasus, penggunaan yang terlalu lama justru menyulitkan adaptasi ke sepeda berpedal (Makarim, 2022). Produk SmarTrike Xtend Balance Pedal 3-in-1 menunjukkan bahwa desain *convertible* mampu mengurangi keterbatasan ini, namun masih terbatas dari segi usia pemakaian dan bobot sepeda (Wren, 2020).

Penelitian ini difokuskan pada perancangan *light-weight convertible frame balance bike* untuk anak usia 2-8 tahun menggunakan pendekatan Ulrich secara sistematis, mulai dari identifikasi kebutuhan, pengembangan konsep, hingga seleksi desain akhir. Tujuan penelitian adalah menghasilkan rancangan sepeda yang ringan, aman secara struktural, ergonomis, dan adaptif terhadap pertumbuhan anak, sekaligus memperpanjang masa pakai produk serta mengurangi beban biaya bagi orang tua. *Novelty* penelitian ini terletak pada integrasi sistem modular ringan berbasis material aluminium dengan analisis struktural dan ergonomi, serta seleksi desain berbasis metode *Analytical Hierarchy Process*, sehingga mampu menghasilkan rancangan yang lebih adaptif, berkelanjutan, dan efisien dibandingkan produk sejenis yang telah ada di pasaran.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) *Balance Bike*

Balance bike adalah sepeda tanpa pedal yang dirancang untuk mendukung anak usia dini dalam mengembangkan kemampuan keseimbangan. Penggunaannya terbukti berkontribusi positif terhadap perkembangan motorik kasar anak, khususnya koordinasi dan keseimbangan (Brantasari, 2020). Berbeda dengan sepeda roda tiga atau roda bantu, *balance bike* menuntut anak untuk aktif mengontrol keseimbangannya sendiri, sehingga mempercepat penguasaan bersepeda tanpa roda bantu (Blommenstein & Kamp, 2022). Selain itu, *balance bike* juga menstimulasi perkembangan otot bagian

bawah, meningkatkan kepercayaan diri, serta mendukung koordinasi motorik yang lebih optimal dibandingkan *baby walker* (Casman et al., 2021).

(B) Geometri Sepeda

Geometri rangka sepeda yang ditentukan oleh dimensi dan sudut elemen struktural seperti *head tube*, *seat tube*, dan *bottom bracket* berperan penting dalam kenyamanan ergonomis serta performa dinamis pengendara. Variasi antropometri global menuntut fleksibilitas desain agar sesuai dengan proporsi tubuh pengguna. Parameter seperti *reach*, *stack*, *wheelbase*, dan sudut *seat tube* memengaruhi stabilitas, distribusi beban, kontrol, serta efisiensi mekanis kayuhan (Batan, 2008). Pada *balance bike*, geometri menjadi semakin krusial karena digunakan oleh anak-anak dengan pertumbuhan cepat. Panjang *wheelbase*, jarak *cockpit*, dan sudut *fork* menentukan kestabilan, kemampuan manuver, dan kemudahan menjaga keseimbangan (Abyan, 2020; Martins, 2023). Panduan ukuran pembelian *balance bike* ditunjukkan pada Tabel 1 (Martins, 2023).

Tabel 1. Panduan Ukuran Pembelian *Balance Bike*

<i>Balance Bike</i>	<i>Child's Age</i>	<i>Child's Inseam</i>	<i>Wheel Size</i>	<i>Seat Height</i>
<i>Woom 1</i>	18 mo. – 3 yrs	10.5" - 15"	12"	10" – 14"
<i>Strider Sport</i>	18 mo. – 4 yrs	11.5" – 18"	12"	11" – 19"
<i>Guardian Balance Bike</i>	2-4 yrs	12.5" – 17"	12"	12.5" - 16"
<i>Ridgeback Scoot</i>	3-5 yrs	14.5" – 18"	-	-
<i>Woom 1 Plus</i>	3.5-4 yrs	15" – 19"	-	-
<i>Strider 14x</i>	4-6 yrs	16" – 20"	14"	15" – 22"
<i>Bixe 16</i>	4-6 yrs	18.75" – 20"	16"	18" – 22"

Sumber: Martins, 2023

(C) Metode Ulrich

Metode Ulrich digunakan dalam penelitian ini sebagai pendekatan sistematis untuk merancang dan mengembangkan produk, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga pemilihan konsep terbaik. Ulrich dan Eppinger (2015) menjelaskan bahwa proses pengembangan produk meliputi enam tahap utama: perencanaan, pengembangan konsep, perancangan tingkat sistem, perancangan rinci, pengujian dan perbaikan, serta peluncuran produk. Pada tahap awal, kebutuhan konsumen diidentifikasi dan disusun dalam bentuk daftar hierarki agar setiap kebutuhan penting tidak terlewat. Kebutuhan tersebut kemudian diterjemahkan ke dalam spesifikasi teknis yang menjadi dasar penyusunan konsep produk (Ulrich & Eppinger, 2015).

(D) Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan pendekatan numerik yang banyak digunakan dalam analisis rekayasa karena mampu menyelesaikan permasalahan kompleks secara efisien, terutama pada mekanika struktur (Bathe, 2014). Prosedur umum meliputi pemodelan geometri, proses *meshing*, spesifikasi sifat material, serta penerapan kondisi batas dan pembebanan (Gefin, 2020). Pemodelan geometri dilakukan dengan

menyederhanakan bentuk fisik menjadi elemen-elemen dasar, yang kemudian dibagi menjadi *mesh* agar perhitungan dapat dilakukan secara bertahap. Selanjutnya, sifat material seperti modulus elastisitas ditentukan untuk setiap elemen, sementara kondisi batas dan beban diberikan untuk merepresentasikan kondisi nyata sistem. Dengan dukungan perangkat lunak komersial, proses ini memungkinkan visualisasi dan prediksi perilaku struktur dengan tingkat akurasi yang tinggi (Awwaluddin, 2013).

(E) Analisis Ergonomi

Analisis ergonomi pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA), yaitu teknik evaluasi postur tubuh yang dikembangkan untuk mengidentifikasi potensi risiko cedera muskuloskeletal akibat posisi kerja yang tidak ergonomis (McAtamney & Corlett, 1993). Metode ini menilai postur tubuh berdasarkan dua kelompok utama, yaitu grup A (lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan) serta grup B (leher, punggung, dan kaki). Proses penilaian dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu evaluasi postur tubuh, pengelompokan postur, dan penjumlahan nilai total. Hasil perhitungan akhir berupa skor RULA menunjukkan tingkat risiko yang dikategorikan dari rendah hingga tinggi, dengan skor ≥ 5 menandakan perlunya investigasi lebih lanjut dan modifikasi desain secara segera (Sukamdani et al., 2016; McAtamney & Corlett, 1993).

(F) Analytical Hierarchy Process

Analytical Hierarchy Process (AHP) merupakan metode yang dikembangkan oleh Saaty untuk membantu pengambilan keputusan kompleks dengan menyusunnya dalam bentuk hierarki, mulai dari tujuan, kriteria, hingga alternatif (Supriadi et al., 2018). Proses AHP pada penelitian ini meliputi identifikasi masalah, penyusunan struktur hierarki, pembuatan matriks perbandingan berpasangan antar kriteria, serta perhitungan bobot prioritas. Penilaian dilakukan menggunakan skala 1-9 untuk menentukan tingkat kepentingan relatif antar elemen (Rohmatuka, 2023). Selain itu Adapun perhitungan perhitungan yang perlu dilakukan pada metode ini sebagaimana di sebutkan pada Persamaan 1 hingga 5 berikut.

- (1) Menentukan *Weighted Sum Vector* (WSV)

$$WVS = AW \dots\dots\dots(1)$$

Di mana:

WSV : *weighted sum vector*
A : matriks perbandingan berpasangan
W : *eigen vector*

- (2) Menghitung *Consistence Vector* (CV)

$$CV = \frac{WSV}{W} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

CV : *consistence vector*
WSV : *weighted sum vector*
W : *eigen vector*

- (3) Menghitung λ (Nilai Rata-Rata CV)

$$\lambda = \frac{\sum CV}{n} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana:

- λ : nilai rata-rata dari keseluruhan kriteria
 CV : *consistence vector*
 n : jumlah matriks perbandingan suatu kriteria

(4) Menghitung *Consistency Index* (CI)

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n-1} \dots \dots \dots (4)$$

Di mana:

- CI : *consistency index*
 λ : nilai rata-rata dari keseluruhan kriteria
 n : jumlah matriks perbandingan suatu kriteria

(5) Menghitung *Consistency Ratio* (CR)

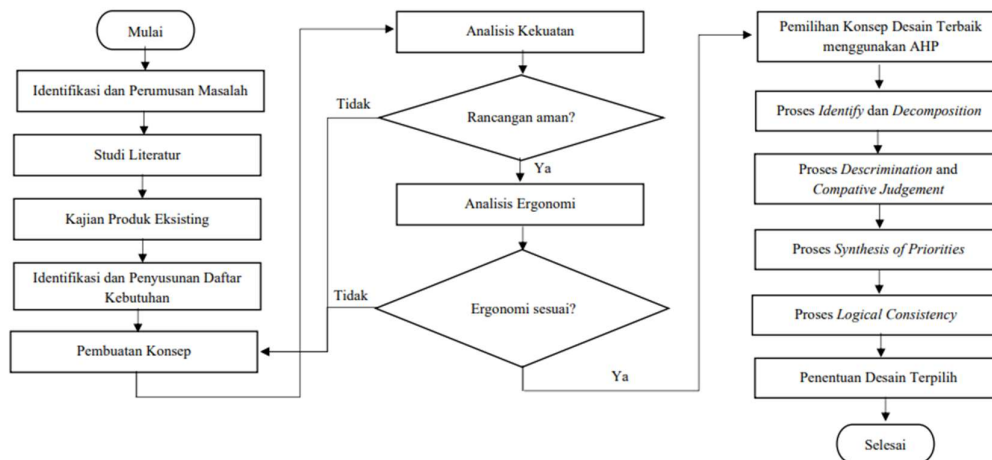
$$CR = \frac{CI}{(RI)} \dots \dots \dots (5)$$

Di mana:

- CR : *consistency ratio*
 CI : *consistency index*
 RI : *random index*

Apabila nilai $CR \leq 0,1$, maka hasil perbandingan berpasangan dianggap konsisten. Prinsip dasar AHP mencakup *decomposition* (pemisahan masalah dalam bentuk hierarki), *comparative judgement* (pembobotan antar kriteria melalui perbandingan berpasangan), dan *synthesis of priority* (penggabungan bobot lokal menjadi bobot global). Dengan demikian, AHP memungkinkan penentuan alternatif desain dengan skor prioritas tertinggi secara sistematis dan valid (Supriadi et al., 2018; Rohmatuka, 2023).

METODE



Gambar 1. Diagram Alir Proses Perancangan dan Pemilihan Desain

Metode penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah berdasarkan studi literatur dan kajian produk eksisting. Hasil analisis menunjukkan bahwa *balance bike* yang ada masih memiliki kekurangan pada aspek fleksibilitas ukuran dan bobot rangka, seperti pada produk *SmarTrike Xtend Balance Pedal 3-in-1* (Wren, 2020). Berdasarkan temuan tersebut, dilakukan penyusunan daftar kebutuhan melalui kuesioner kepada 39

responden untuk mengidentifikasi aspek teknis, fungsional, dan ergonomi yang dibutuhkan. Daftar kebutuhan ini menjadi dasar dalam pengembangan tiga alternatif konsep desain *convertible frame balance bike* yang fleksibel, ringan, ergonomis, dan sesuai dengan kebutuhan anak usia 2-8 tahun.

Setiap konsep diuji melalui analisis kekuatan menggunakan Autodesk Fusion 360 dengan metode elemen hingga pada kondisi *start-up* dan *steady pedaling* untuk memperoleh distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan. Analisis ergonomi dilakukan dengan metode RULA menggunakan data antropometri anak agar desain sesuai postur tubuh pengguna. Konsep yang memenuhi aspek kekuatan dan ergonomi kemudian dievaluasi lebih lanjut menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) melalui lima tahapan utama: *identify and decomposition, comparative judgement, synthesis of priorities, logical consistency*, dan penentuan desain terpilih.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Penyusunan Daftar Kebutuhan

Penyusunan daftar kebutuhan merupakan tahapan awal yang penting dalam perancangan produk, karena menjadi dasar penentuan spesifikasi yang sesuai dengan harapan pengguna dari sisi fungsionalitas, kualitas, dan keterjangkauan harga (Ulrich & Eppinger, 2015). Pada penelitian ini, informasi kebutuhan dikumpulkan melalui kuesioner yang melibatkan calon pengguna. Hasil ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Informasi:

S : syarat

H : harapan

Tabel 2. Daftar Kebutuhan

Daftar Kebutuhan			
Aspek	S/H	Uraian Kebutuhan	Penanggung Jawab
Durabilitas	H	Material tahan lama dan kuat (71,8% responden menyatakan sangat penting).	Tim Desain dan Manufaktur
Berat	S	Bobot sepeda yang ringan (61,5% responden memprioritaskan ringan).	Tim Desain
Fungsi Ganda	H	Dapat dikonversi menjadi sepeda berpedal (59% responden tertarik).	Tim Desain dan Manufaktur
Penyesuaian Ukuran	S	Frame dan sadel dapat disesuaikan dengan pertumbuhan anak (64,1% responden tertarik).	Tim Desain
Kenyamanan	S	Sadel dan stang nyaman (41% responden menyoroti kenyamanan).	Tim Manufaktur
Keamanan	S	Sistem pengereman efektif (30,8% responden menyebut rem sebagai kendala).	
Kemudahan Perakitan	S	Pedal dan komponen mudah dipasang (35,9% responden ingin fitur ini).	
Stabilitas	H	Roda stabil (12,8% responden mengalami kendala roda tidak stabil).	Tim Desain dan Manufaktur

(B) Pemilihan Material

Pemilihan material rangka merupakan tahap penting karena menentukan kekuatan, kekakuan, dan keselamatan pengguna (Ashby, 2005). Evaluasi dilakukan menggunakan *material index* dengan mempertimbangkan aspek performa dan biaya (Farak, 2014). Perbandingan material rangka dan harga dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan Material Rangka

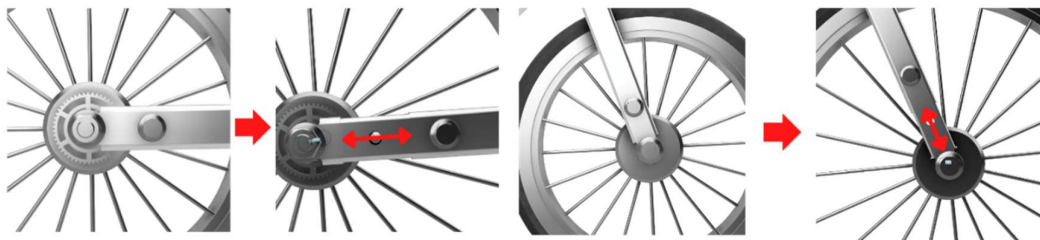
Material	E (GPa)	ρ (Mg/m ³)	σ_y (MPa)	M1	M2	Harga/kg (Rp)
Kayu	20	0,8	70	22,36	87,5	25.000–50.000
Baja	215	7,9	395	76,49	50	15.000–25.000
Al 6061	82	2,9	500	48,15	172,41	80.000–120.000
Titanium	120	4,8	1245	54,77	259,38	1.500.000–3.000.000
CFRP	150	1,6	1050	118,59	656,25	500.000–1.200.000

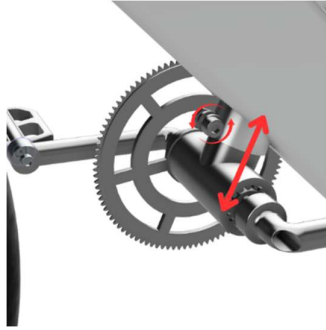
Sumber: Ashby, 2005

Hasil analisis menunjukkan Aluminium Alloy 6061 sebagai material optimal. Material ini cukup ringan, memiliki kekakuan (82 GPa) dan kekuatan luluh (500 MPa) yang memadai, serta lebih ekonomis dibanding Titanium dan CFRP. Sementara kayu dan baja kurang sesuai karena keterbatasan daya tahan dan densitas yang tinggi.

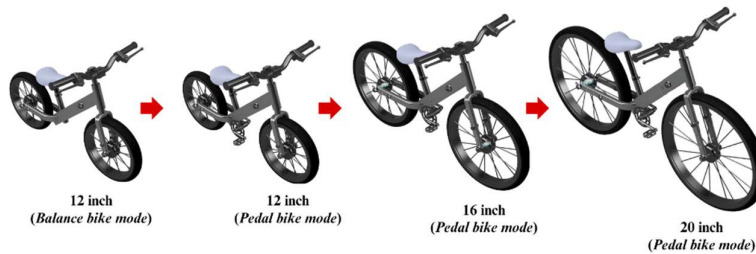
(C) Pembuatan Konsep Desain**(1) Konsep Desain 1**

Konsep Desain 1 menggunakan rangka sederhana tanpa *top tube*, terdiri dari *down tube*, *seat tube*, dan *chainstay* berbahan Aluminium Alloy 6061 tebal 1,2 mm. Keunggulannya adalah sistem modular dengan pengunci geser pada rangka, *fork*, dan *chainstay* yang memungkinkan penyesuaian panjang 597-771 mm serta kompatibilitas roda 12, 16, dan 20 inci. Detail dapat dilihat pada Gambar 2. Secara geometris, sudut *head tube* dan *seat tube* sebesar 70° dipilih untuk ergonomi dan stabilitas. Desain ini juga dapat dikonversi menjadi sepeda berpedal melalui dudukan khusus di bawah jok tanpa mengubah rangka utama yang ditunjukkan Gambar 3. Fleksibilitas ukuran membuat desain ini dapat digunakan anak usia 2-8 tahun, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 4.

**Gambar 2.** Sistem Modular Bagian *Chainstays* dan *Fork* Konsep 1



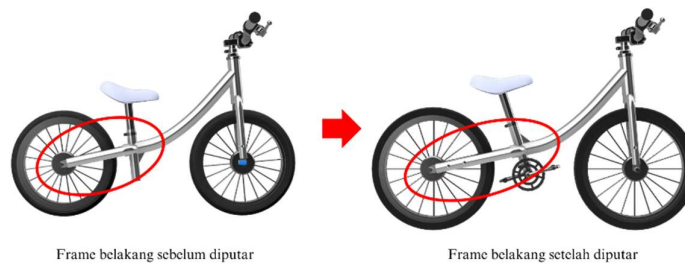
Gambar 3. Pemasangan Pedal Konsep 1



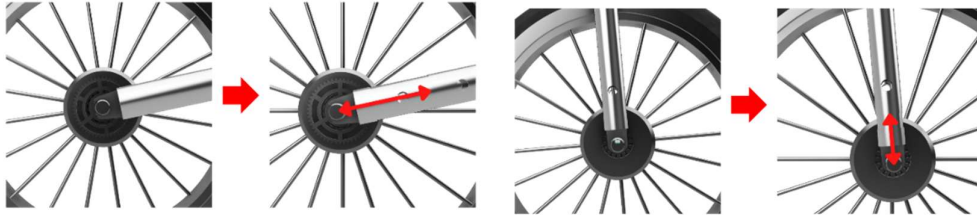
Gambar 4. Visualisasi Perubahan Ukuran Konsep Desain 1

(2) Konsep Desain 2

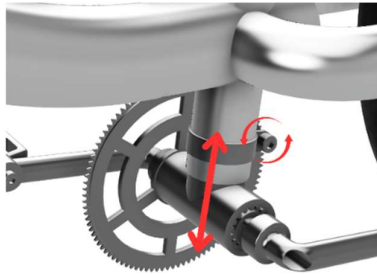
Konsep Desain 2 menggunakan rangka tanpa *top tube* dengan kombinasi *down tube*, *seat tube*, dan *chainstay* berbahan Aluminium 6061 *hollow circular section* tebal 1,2 mm. Material ini dipilih karena ringan, kuat, tahan korosi, serta mudah diproduksi (Mahendra & Dharmasti, 2020). Keunggulannya terletak pada fleksibilitas konversi dari *balance bike* menjadi sepeda berpedal melalui sistem putar pada rangka belakang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Fleksibilitas ini memungkinkan penyesuaian dengan usia dan tinggi anak, memperpanjang masa pakai produk, sekaligus menjaga kenyamanan. Geometri sepeda dirancang dengan sudut *head tube* 80° agar kemudi tegak dan mudah dikendalikan. Penyesuaian stang dan sadel juga mengubah *frame reach*, sehingga ukuran rangka dapat beradaptasi dengan pertumbuhan anak tanpa perlu mengganti struktur utama sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.



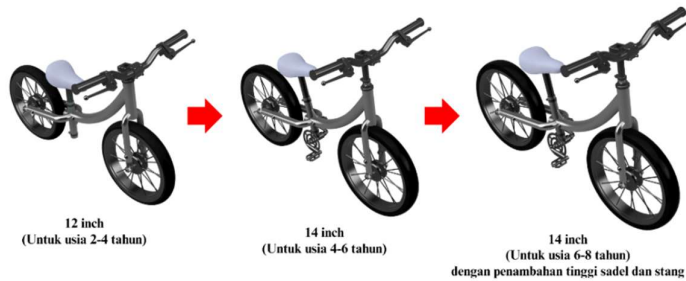
Gambar 5. Perputaran *Frame* Belakang Konsep Desain 2



Gambar 6. Sistem Modular Bagian *Chainstays* dan *Fork* Konsep 2



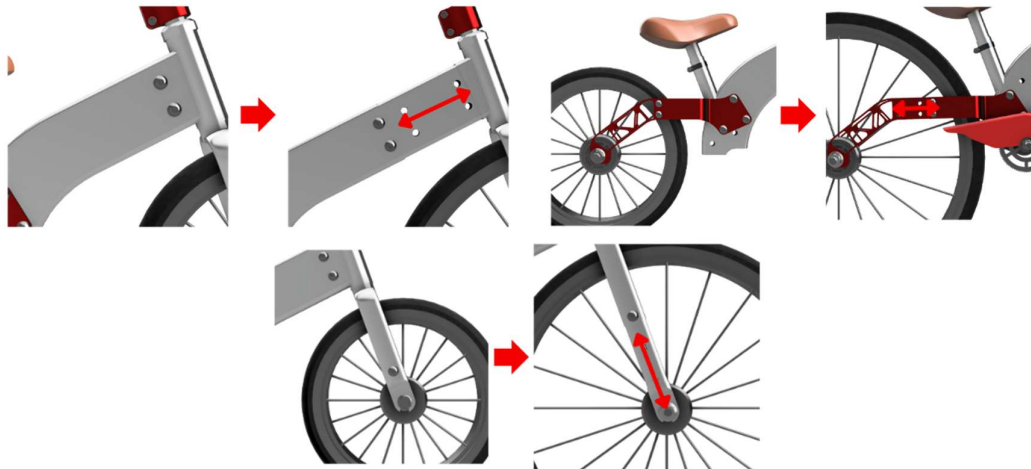
Gambar 7. Sistem Pemasangan Pedal Konsep Desain 2



Gambar 8. Visualisasi Perubahan Ukuran Konsep Desain 2

(3) Konsep Desain 3

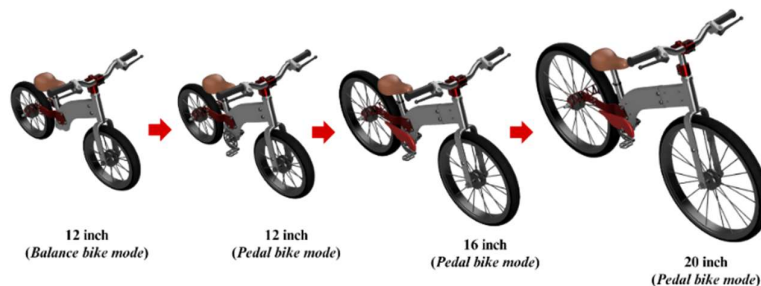
Konsep Desain 3 dirancang dengan geometri tanpa *top tube*, mengandalkan *down tube*, *seat tube*, dan *chainstay* sehingga rangka tetap efisien dan stabil. Rangka menggunakan plat Aluminium 6061 setebal 1,2 mm yang ringan, kuat, dan tahan korosi. Fitur utama desain ini adalah panjang rangka yang dapat diatur dari 584 mm hingga 814,5 mm melalui sistem pengunci geser pada *frame*, *fork*, dan *chainstay*, memungkinkan penggunaan roda 12, 16, dan 20 inci yang ditunjukkan pada Gambar 9. Sudut *seat tube* dan *head tube* ditetapkan 70° untuk menjaga kenyamanan dan stabilitas berkendara. Selain itu, sistem *plug-and-play* pada pedal dengan mekanisme pengunci baut memungkinkan konversi cepat dari *balance bike* ke sepeda berpedal seperti pada Gambar 10. Sehingga perubahan ukuran dan konfigurasi desain divisualisasikan pada Gambar 11.



Gambar 9. Sistem Modular Bagian *Chainstays*, *Frame*, dan *Fork* Konsep 3



Gambar 10. Sistem Pedal Konsep Desain 3



Gambar 11. Visualisasi Perubahan Ukuran Konsep Desain 3

(D) Analisis Kekuatan

Analisis kekuatan dilakukan untuk mengevaluasi tiga konsep desain *lightweight convertible frame balance bike* menggunakan Autodesk Fusion 360 dengan pendekatan *Free Body Diagram* (FBD). Dua kondisi pembebanan dianalisis: mode *start-up* (posisi diam) dan mode *steady pedaling*, dengan beban utama 251 N pada sadel dan tambahan 72 N pada *bottom bracket*. Roda diberi batas tetap, stang tidak menerima beban tambahan seperti pada Gambar 12.

**Gambar 12.** *Free Body Diagram*

Simulasi menunjukkan distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan (*safety factor*) untuk variasi roda 12-20 inci (Konsep 2 hanya 12-14 inci). Semua desain memiliki *safety factor* >2, sehingga aman secara struktural. Hasil ini menjadi dasar seleksi desain melalui AHP.

Tabel 4. Rangkuman Hasil Analisis Kekuatan

Konsep Desain	<i>Start Up</i>			<i>Steady Pedaling</i>		
	<i>Safety Factor</i>	<i>Stress (MPa)</i>	<i>Displacement (mm)</i>	<i>Safety Factor</i>	<i>Stress (MPa)</i>	<i>Displacement (mm)</i>
1	Variasi 12 Inci					
	15	9,731	0,032	15	12,584	0,041
	Variasi 16 Inci					
	15	14,996	0,04	14,48	18,991	0,049
	Variasi 20 Inci					
	15	11,802	0,047	15	15,196	0,059
2	Variasi 12 Inci					
	4,023	68,355	0,144	3,829	71,814	0,185
	Variasi 14 Inci					
3	3,134	87,747	0,186	3,816	72,063	0,185
	Variasi 12 Inci					
	14,838	17,38	0,88	12,136	20,851	0,104
	Variasi 16 Inci					
	10,832	25,337	0,231	8,747	31,439	0,283
	Variasi 20 Inci					
	7,796	35,273	0,329	6,495	42,339	0,397

(E) Analisis Ergonomi

Analisis ergonomi dilakukan pada tiga konsep desain dengan variasi ukuran roda (12, 14, 16, dan 20 inci) yang disesuaikan dengan rentang usia 2-8 tahun berdasarkan data antropometri anak Indonesia, Kemenkes (2020), dan WHO sebagaimana ditunjukkan Tabel 5. Evaluasi menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) untuk menilai kenyamanan postur tubuh anak pada kondisi duduk statis dan

memegang stang. Berikut adalah tabel yang memperlihatkan antropometri anak usia 2 hingga 8 tahun.

Tabel 5. Data Antropometri Anak Usia 2-8 Tahun

Data Antropometri Anak Usia 2 Tahun - 8 Tahun				
	2 tahun	4 tahun	6 tahun	8 tahun
Tinggi Badan	87.1	103.3	116	127.3
D10	26.53	31.47	35.34	38.78
D14	22.69	26.91	30.22	33.16
D15	25.33	30.04	33.73	37.02
D22	15.72	18.64	20.93	22.97
D23	21.41	25.39	28.51	31.29
D30	12.56	14.89	16.72	18.35

Sumber: Antropometri Indonesia, n.d.

Berdasarkan hasil analisis ergonomi, didapatkan hasil bahwa Konsep 1 dan 3 cenderung lebih ergonomis karena skor RULA lebih rendah dan stabil di berbagai variasi ukuran, sedangkan Konsep 2 memerlukan penyesuaian lebih lanjut terutama pada ukuran kecil. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ketiga desain memenuhi aspek kelayakan ergonomi, namun Konsep 1 dan 3 memberikan performa postural yang lebih baik. Detail hasil analisis ergonomi ketiga konsep desain dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Rangkuman Hasil Analisis Ergonomi

Kriteria	12 Inci (2 th)	12 Inci (4 th)	16 Inci (4 th)	16 Inci (6 th)	20 Inci (6 th)	20 Inci (8 th)
Skor RULA KD 1	3	2	3	2	3	2
Skor RULA KD 2	3	3	3	3	3	3
Skor RULA KD 3	3	2	3	3	3	3

(F) Pemilihan Konsep Terbaik Menggunakan AHP

Pemilihan desain terbaik dilakukan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dengan lima kriteria utama: bobot rangka, jumlah *part*, tegangan maksimum, defleksi maksimum, dan skor RULA. Penilaian dilakukan melalui *pairwise comparison* oleh tiga orang *expert* dari PT Insera Sena (Polygon Bikes). Hasil sintesis bobot kriteria menunjukkan bahwa skor RULA menjadi faktor dominan (0,589), diikuti tegangan maksimum (0,148), bobot rangka (0,103), jumlah *part* (0,102), dan defleksi maksimum (0,058) (Tabel 2).

Tabel 7. Hasil Pembobotan Kriteria

Kriteria	Bobot Akhir
Bobot <i>Frame</i> Sepeda	0,103

Jumlah <i>Part Frame</i>	0,102
Tegangan Maksimum	0,148
Defleksi Maksimum	0,058
Skor RULA	0,589

Selanjutnya, data kinerja tiap konsep desain dinormalisasi dan dikalikan dengan bobot kriteria. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Konsep Desain 1 memperoleh skor tertinggi (0,96), diikuti Konsep 3 (0,80) dan Konsep 2 (0,71) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 10. Dengan demikian, Konsep Desain 1 ditetapkan sebagai alternatif terbaik karena memberikan kombinasi optimal antara kekuatan struktural, efisiensi komponen, dan aspek ergonomi.

Tabel 8. Rata Rata Konsep Desain 1-3

<i>Unweighted Score Alternative</i>			
Kriteria	Konsep Desain 1	Konsep Desain 2	Konsep Desain 3
Bobot <i>Frame Sepeda</i>	1791,80	1336,20	1386,27
Jumlah <i>Part Frame</i>	9	10	8
Tegangan Maksimum	13,88	80,77	28,78
Defleksi Maksimum	0,045	0,20	0,24
Skor RULA	2,50	3,00	2,83

Tabel 9. Normalisasi Nilai Alternatif

<i>Normalized Unweighted Score Alternative</i>			
Kriteria	Konsep Desain 1	Konsep Desain 2	Konsep Desain 3
Bobot <i>Frame Sepeda</i>	0,75	1,00	0,96
Jumlah <i>Part Frame</i>	0,89	0,80	1,00
Tegangan Maksimum	1,00	0,17	0,48
Defleksi Maksimum	1,00	0,23	0,19
Skor RULA	1,00	0,83	0,88

Tabel 10. Hasil Pembobotan Alternatif

<i>Weighted Score Alternative</i>			
Kriteria	Konsep Desain 1	Konsep Desain 2	Konsep Desain 3
Bobot <i>Frame Sepeda</i>	0,08	0,10	0,10
Jumlah <i>Part Frame</i>	0,09	0,08	0,10
Tegangan Maksimum	0,15	0,03	0,07
Defleksi Maksimum	0,06	0,01	0,01
Skor RULA	0,59	0,49	0,52
Total	0,96	0,71	0,80
Ranking	1	3	2

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang *light-weight convertible frame balance bike* dengan sistem modular pada *frame*, *fork*, dan *chainstays*, yang memungkinkan penyesuaian panjang rangka serta variasi ukuran roda (12, 16, dan 20 inci) sehingga dapat digunakan

oleh anak usia 2-8 tahun. Hasil analisis struktural menunjukkan bahwa seluruh konsep desain memiliki *safety factor* di atas 2 pada kondisi *start-up* maupun *steady pedaling*, sehingga layak digunakan secara aman. Dari sisi ergonomi, ketiga desain berada dalam kategori toleransi, dengan potensi peningkatan kenyamanan melalui penyesuaian sederhana pada stang dan sadel. Proses perancangan menggunakan metode Ulrich memastikan desain yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan fungsional pengguna. Selanjutnya, pemilihan desain terbaik menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) menunjukkan bahwa Konsep Desain 1 memperoleh skor tertinggi (0,96), sehingga ditetapkan sebagai alternatif paling optimal untuk desain *light-weight convertible frame balance bike*.

REFERENSI

- Abyan, G. (2020). *Analisis pengaruh geometri frame terhadap kekuatan dan bobot balance bike dibuat dengan 3D printing* (Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Adrian, K. (2024). *Balance bike untuk anak, sekadar tren atau ada manfaatnya?* <https://www.alodokter.com/balance-bike-untuk-anak-sekadar-tren-atau-ada-manfaatnya>
- Antropometri Indonesia. (n.d.). Antropometri Indonesia: The largest antropometry data in Indonesia. <https://antropometriindonesia.org/>
- Ashby, M. F. (2005). *Materials selection in mechanical design* (3rd ed.). Burlington, MA: Elsevier.
- Awwaluddin, M. (2013). *Analisis tegangan statik dan dinamik pada perancangan dan pengembangan struktur bodi monorail produksi PT. MBW menggunakan finite element analysis (ANSYS)* (Tesis, Universitas Gadjah Mada).
- Batan, I. M. L. (2008). Geometri rangka sepeda yang ergonomis dan efisien (studi kasus pengembangan sepeda untuk berbagai bentuk dan ukuran tubuh pengendara). *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VI*. 1-7. Malang: Universitas Brawijaya.
- Bathe, K. J. (2014). *Finite element procedures*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, Pearson Education, Inc.
- Blommenstein, B., & Kamp, J. (2022). Mastering balance: The use of balance bicycles promotes the development of independent cycling. *Journal of Physical Activity & Health*. 19(4), 351-359. Doi:10.34894/GIVKUK
- Brantasari, M. (2020). Bermain sepeda untuk melatih kemampuan motorik kasar anak usia 5-6 tahun. *Jurnal Pendas Mahakam*. 5(2), 135-141.
- Casman, I., Pursitasari, I., Wijaya, A., & Helfiyanti, Y. (2021). Efek stimulasi dini menggunakan baby walker dan balance bike pada perkembangan motorik anak. *Jurnal Bahasa Kesehatan Masyarakat*. 5(2), 72-77.
- Chamidah, I. Z., Pramono, & Maningtyas, R. D. T. (2021). Pengembangan profil klub balance bike XBC Pushbike Malang berbasis buku. *Preschool: Jurnal Perkembangan dan Pendidikan Anak Usia Dini*. 3(1), 74-85. Doi:10.18860/pres.v3i1.16052
- Farag, M. M. (2014). *Materials and process selection for engineering design* (3rd ed.). Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Gefin, M. (2020). *Optimisasi kekuatan ban airless pada balance bike dengan variasi desain geometri ban airless menggunakan metode elemen hingga* (Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2020 tentang Standar antropometri anak. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/152505/permenkes-no-2-tahun-2020>
- Mahendra, A. M., & Dharmasti, R. (2020). Pengembangan desain sepeda anak usia 7-12 tahun menggunakan metode rapid ethnography dan SCAMPER. *ATRIUM: Jurnal Arsitektur*. 6(1), 73-79.
- Makarim, R. F. (2022). *Balance bike untuk anak, kenali kelebihan dan kekurangannya*. Halodoc.
<https://www.halodoc.com/artikel/balance-bike-untuk-anak-kenali-kelebihan-dan-kekurangannya>
- Martins, N. (2023). *Balance bike sizes and buying guide*.
<https://www.twowheelingtots.com/how-to-choose-balance-bikes/>
- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: A survey method for investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*. 24(2), 91-99.
 Doi:10.1016/0003-6870(93)90080-S
- Rohmatuka, M. W. (2023). *Penerapan metode design for manufacture and assembly (DFMA) dan life cycle assessment (LCA) pada perbaikan desain mesin dual function waste chopper* (Skripsi, Universitas Negeri Semarang).
- Sukamdani, H. B., Kusnadi, E., & Sulistyadi, K. (2016). Analisa ergonomi berdasarkan praktikum laboratorium di Teknik Industri-USAHID dan penerapan ergonomi di industri garment "AB." *Gaung Informatika*. 9(1), 10-17.
- Supriadi, A., Rustandi, A., Komarlina, D. H. L., & Ardiani, G. T. (2018). Analytical hierarchy process (AHP) teknik penentuan strategi daya saing kerajinan bordir. Yogyakarta: Deepublish.
- The Business Research Company. (n.d.). *Balance bike global market report 2025*.
<https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/balance-bike-global-market-report>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2015). *Product Design and Development*. 6th Ed (6th ed.). McGraw-Hill.
- Wren, C. (2020). *Smartrike Xtend – Convertible balance bike review*.
<https://www.twowheelingtots.com/smart-trike-xtend-mg-convertible-balance-bike>