

Studi Pengaruh Perubahan Sudut Head Tube dan Top Tube Pada Rangka Sepeda Balap terhadap Defleksi pada Fork dengan Metode *Explicit Dynamics* Elemen Hingga

A. Wiranata^{1*}, A. Arief¹, H.S.B. Rochardjo¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta 55281, Indonesia,
Telp.+62-274-521673
e-mail: *1 ardi.wiranata@ugm.ac.id

Abstrak

Salah satu kriteria keselamatan penumpang pada kendaraan adalah besarnya defleksi yang terjadi ketika terjadi *frontal impact* pada rangka kendaraan. Besarnya defleksi ini erat hubungannya dengan distribusi energi pada rangka utama kendaraan. Material komposit merupakan material yang ringan dan memiliki kemampuan penyerapan energi yang baik. Penggunaan material ini dapat diterapkan pada rangka sepeda. Pengujian kekuatan struktur rangka sepeda diperlukan untuk menentukan tingkat keamanan dimana tingkat keamanan tersebut mengacu pada standar EN1481. Salah satu langkah uji struktur rangka dapat dilakukan dengan metode *dropmass impact*. Metode *drop mass impact* sesuai dengan standar EN1481 merupakan standar yang dikembangkan oleh Jerman untuk menguji kelayakan sepeda balap. Pada standar ini sepeda balap dikatakan layak jika saat dijatuhkan beban seberat 22.5 kg dari ketinggian 212 mm, deformasi permanen yang terjadi pada *fork stainless steel* tidak melebihi 15 mm dan frame sepeda tidak mengalami keretakan. Metode yang dipilih dalam melakukan pengujian ini adalah dengan menggunakan metode numerik FEA (*Finite element analysis*) *Explicit dynamics*. Pada penelitian ini, frame sepeda standar akan dilakukan modifikasi pada *head tube angle* (HTA) dan *top tube angle* (TTA). Pada bagian HTA akan dibuat 6 variasi sudut yaitu 69° – 76°, sedangkan pada TTA dilakukan variasi 6 sudut yang berkisar antara 70° – 86°. Dari hasil simulasi diketahui bahwa defleksi maksimum pada bagian sambungan *fork* dengan *head tube* adalah 7.89 mm (HTA= 71.8°) dan pada variasi TTA didapatkan nilai maksimum defleksi sebesar 6.87 mm (TTA= 70°). Dari hasil simulasi juga diketahui bahwa perubahan sudut dibawah 20° baik pada HTA maupun TTA pada rangka sepeda relatif tidak mempengaruhi kekuatan dari rangka sepeda balap.

Kata kunci: *explicit dynamics, frontal impact, dropmass impact.*

Abstract

One of the criteria for passenger safety on a vehicle is the magnitude of deflection that occurs when a frontal impact takes place toward the vehicle frame. The magnitude of the deflection is closely related to the energy distribution at the main frame of the vehicle. Composite material is a lightweight material and has good energy absorption capabilities. This material can be applied as a bicycle frame. Testing the strength of the bicycle frame structure is needed to determine the level of security, for which the security level should refer to EN1481 standard. One step in the testing of frame structure the *dropmass impact* method. The *mass impact drop* method was developed by Germany to test the feasibility of racing bikes. According to this standard racing bikes are feasible if a permanent deformation that occurs in stainless steel forks does not exceed 15 mm and the

bicycle frame does not experience cracks once receiving 22.5 kg load dropped from a height of 212 mm. The method chosen in conducting this test is using the FEA numerical method (Finite element analysis) Explicit dynamics was chosen as the method for conducting this test. In this study, a standard bicycle frame will be modified for its head tube angle (HTA) and top tube angle (TTA). In the HTA section 6 angular variations will be made, namely 69° - 76°, while in the TTA 6 variations will be made which range from 70° - 86°. From the simulation results it is known that the maximum deflection in the fork joint with head tube is 7.89 mm (HTA = 71.8°) and the TTA variation is found to have a maximum deflection value of 6.87 mm (TTA = 70°). From the simulation results it is also known that the change in angle under 20° both in HTA and TTA on the bicycle frame relatively does not affect the strength of the racing bicycle frame.

Keywords: *explicit dynamics, frontal impact, dropmass impact.*

1. PENDAHULUAN

Pada sebuah kendaraan salah satu kriteria utama keselamatan penumpang adalah besarnya deformasi pada rangka utama sebuah kendaraan tersebut. Besarnya deformasi pada sebuah rangka kendaraan dipengaruhi oleh besarnya energi yang diserap oleh rangka utama kendaraan tersebut. Pendistribusian energi yang baik pada seluruh rangka utama kendaraan mampu meningkatkan kamanan pada kendaraan tersebut. Bentuk dari deformasi pada struktur rangka kendaraan ketika terjadi *frontal impact* bergantung pada susunan konstruksi dari rangka kendaraan dan *mechanical properties* dari material (Engineering report, 2011).

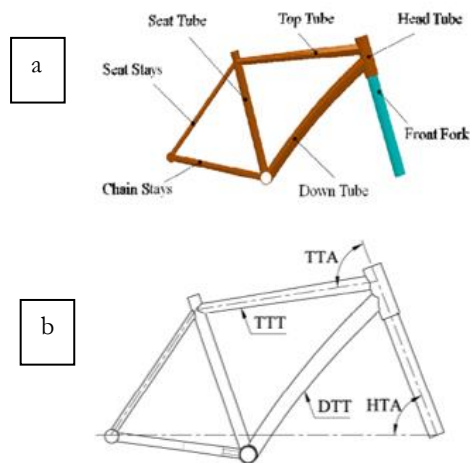
Baru – baru ini kendaraan dengan berat yang relatif ringan banyak dikembangkan dalam rangka mendukung program reduksi konsumsi BBM dan polusi udara. Pengurangan masa yang signifikan pada kendaraan perlu diikuti dengan perubahan struktur rangka yang lebih baik untuk memberikan kompensasi pada kamanan kendaraan. Selain dengan menggunakan struktur rangka yang lebih kompleks untuk memberikan kompensasi terhadap pengurangan masa rangka kendaraan, penggunaan material baru yang lebih ringan dan kuat menjadi salah satu pilihan dalam pengembangan kendaraan masa depan. Dalam hal ini material komposit menjadi salah satu alternatif utama sebagai pengganti material utama pembuatan rangka. Material komposit dibuat dengan memadukan dua atau lebih material yang memiliki karakteristik mekanik berbeda. Kedua material yang dipadukan pada material komposit tersebut diharapkan dapat saling melengkapi untuk membentuk suatu material komposit baru dengan karakteristik mekanik yang sesuai dengan kebutuhan. Meski demikian material komposit biasanya masih dapat dibedakan antara material campurannya. Hal ini disebabkan karena pada komposit material, material- material penyusunnya tidak bercampur dan melebur menjadi satu. Material komposit banyak dikembangkan karena perpaduan antara dua material penyusunnya mampu menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dari bahan dasar penyusunnya. Beberapa jenis komposit yang saat ini dikembangkan antarlain: komposit lapis (*laminated composite*), komposit partikel (*particulate composite*), dan komposit serat. Komposit serat terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya komposit serat karbon yaitu gabungan fiber karbon dan resin. Komposit serat karbon memiliki sifat yang kuat dan ringan sehingga beberapa kendaraan menggunakan komposit ini sebagai pengganti struktur rangka. Bagian dari kendaraan yang menggunakan komposit serat karbon diantaranya ialah *frame* pada sepeda, bodi pada mobil. Sedangkan pada pesawat terbang, karbon fiber biasanya digunakan pada bagian sayap pesawat, ekor pesawat, dan baling-baling pesawat terbang.

Beberapa tahun terakhir, ketertarikan terhadap sepeda mulai meningkat (Covil, dkk. 2014). Pada dasarnya sepeda merupakan suatu kendaraan yang ramah lingkungan dan dapat dijadikan sarana untuk olah raga. Beberapa jenis sepeda diantaranya adalah *mountain bike* (MTB), BMX, sepeda lipat, sepeda *hybrid*, sepeda *fixie*, sepeda tandem, sepeda kota, dan *road bike* (sepeda balap). Sepeda jenis *road bike* sering dipakai untuk kegiatan perlombaan sepeda. Untuk meningkatkan performa sepeda, *frame* sepeda balap banyak dibuat dari komposit serat karbon. Namun demikian, perlu adanya pengujian untuk menguji tingkat keamanan dari penggunaan *frame* komposit serat karbon. Pengujian *frame* dapat dilakukan dengan cara uji tabrakan sehingga dapat dihitung energi yang dapat diserap oleh *frame*. Meskipun demikian, pengujian *frame* akan memakan biaya yang mahal jika harus menggunakan metode *destructive test*. Untuk menghemat biaya perhitungan terkait besarnya penyerapan energi oleh *frame* sepeda saat terjadi *frontal crash* dapat didekati dengan menggunakan metode numeris dengan *software* ABAQUS. FEA (*Finite element analysis*) telah banyak digunakan untuk menganalisa *frame* sepeda komposit, aluminium dan baja (Peterson dan Londry, 1986; Lessard dkk, 1995; Maestrelli dan Falsini, 2008; Liu dan Wu, 2010; Reynolds Technology Ltd, 2011a) dengan tujuan untuk memahami perilaku fisik dan peningkatan kinerja (*performance*) *frame* sepeda, namun studi komprehensif mengenai parameter geometrik yang mempengaruhi kekakuan *frame* dan kekuatan *frame* sepeda ketika terjadi *frontal case* masih sedikit. *Explicit dynamic* adalah salah satu metode untuk menganalisis atau memahami fenomena respon struktur material terhadap pembebanan yang berubah ubah terhadap waktu. Beberapa contoh penggunaan metode eksplisit elemen hingga adalah digunakan pada simulasi tabrakan, ledakan, dan *drop impact*. Pada fenomena tabrakan, metode *explicit dynamic* dapat digunakan untuk menganalisis besarnya penyerapan energi pada struktur rangka sepeda.

Cheng (2014) melakukan pengujian menggunakan *drop-mass impact* pada *frame* sepeda dengan analisis eksplisit dinamik elemen hingga untuk perbaikan desain rangka sepeda balap. Rangka sepeda balap yang dipakai menggunakan roda dengan radius 20 inchi. Rangka sepeda tersusun dari *front fork*, *head tube*, *top tube*, *seat tube*, *down tube*, *seat tube* dan *chain stays* seperti yang terlihat pada Gambar 1a.

Penelitian dimulai dengan memilih empat parameter dari rangka sepeda sebagai faktor kontrol yang ditingkatkan. Empat parameter tersebut adalah *Head Tube Angle* (HTA), *Top Tube Angle* (TTA), *Top Tube Thickness* (TTT) dan *Down Tube Thickness* (DTT). Keempat faktor kontrol dapat Gambar 1b.

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan besarnya defleksi yang terjadi pada bagian *fork* ketika dilakukan simulasi *dropmass impact*. Modifikasi sudut berkisar antara $69^{\circ} - 76^{\circ}$ untuk *head tube* dan $70^{\circ} - 86^{\circ}$ untuk *top tube*. Simulasi menggunakan *software* ABAQUS dengan memanfaatkan fitur *explicit dynamics*.



Gambar 1. Parameter dan penamaan komponen rangka sepeda, (a) nama komponen rangka sepeda (b) penamaan sudut pada rangka sepeda.

2. METODE PENELITIAN

Simulasi menggunakan ABAQUS digunakan untuk menganalisa besarnya defleksi pada *frame* sepeda ketika dilakukan uji *dropmass impact*. *Frame* sepeda yang dipakai adalah *frame* sepeda balap serat karbon hasil riset Junaidi (2016).

Pada penelitian ini modifikasi dilakukan pada dua bagian yaitu: *Head Tube Angle* (HTA) dan *Top Tube Angle* (TTA). Ketebalan *tube* pada *frame* dianggap *uniform* untuk semua desain yaitu 2 mm. Variasi HTA dan TTA diantaranya $69^{\circ} - 76^{\circ}$ (HTA) dan $70^{\circ} - 86^{\circ}$ (TTA). Posisi letak TTA dan HTA dapat dilihat pada Gambar 1b, sedangkan HTA dan TTA untuk sepeda balap sebelum dilakukan proses modifikasi dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan modifikasi sudut HTA dan TTA yang akan digunakan dalam proses simulasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. *Original Size Frame Sepeda Balap Junaidi (2016)*

Ukuran <i>Frame</i> Sepeda	HTA <i>Head Tube Angle</i> (°)	TTA <i>Top Tube Angle</i> (°)
Original <i>Frame</i> Sepeda Balap	71.5	74

Tabel 2. Modifikasi sudut HTA dan TTA yang disimulasikan

No	HTA (<i>Head Tube Angle</i> °)	TTA (<i>Top Tube Angle</i> °)	Kode
1	71.5	70	T1
2	71.5	73.2	T2
3	71.5	76.4	T3
4	71.5	79.6	T4
5	71.5	82.8	T5
6	71.5	86	T6

7	69	74	H1
8	70.4	74	H2
9	71.8	74	H3
10	73.2	74	H4
11	74.6	74	H5
12	76	74	H6

Pada penelitian ini material yang digunakan pada frame sepeda adalah komposit serat karbon tipe T300. Massa jenis komposit, Modulus Elastisitas dan *poisson ratio* adalah 1371 kg/m³, 129.79 GPa dan 0,3 (Junaidi, 2016). Propertis mmaterial untuk karbon komposit tipe T300 juga telah disampaikan pada penelitian sebelumnya oleh Zhang (2018) dapat dilihat pada Tabel 3.

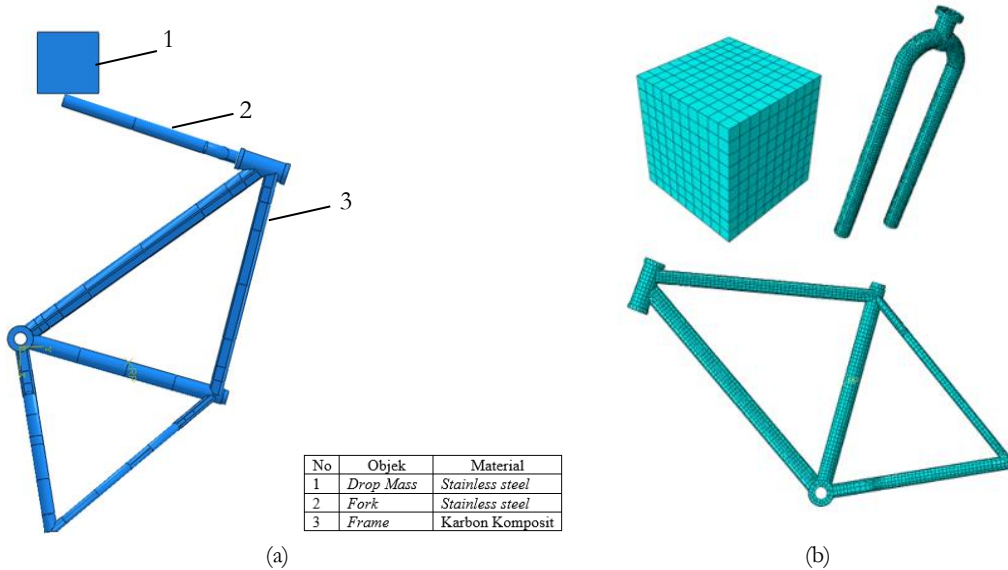
Tabel 3. Propertis material karbon komposit T300

Propertis	Nilai (MPa)
<i>Poisson Ratio</i>	0.3
<i>Longitudinal Tensile Strength</i>	1860
<i>Longitudinal Compresse Strength</i>	1470
<i>Transversal tensile strength</i>	76
<i>Transversal Compresse strength</i>	250
<i>Ultimate In plane Shear Strength</i>	70

Tahapan selanjutnya dalam proses simulasi ini adalah proses *assembly*, *meshing* dan memberikan beberapa boundary condition. Hasil *meshing* dan *assembly* dapat dilihat pada Gambar 2.

Mengacu pada Standar EN 1481, saat melakukan pengujian rangka, maka bagian properties *fork* dan *strike* harus menggunakan material stainless steel dimana properties stainless steel tersebut adalah 71 GPa untuk Modulus elastisitasnya, 0.3 untuk *poisson ratio* dan 7850 kg/m³ untuk masa jenisnya.

Strike merupakan beban impact yang akan dijatuhkan dan mengenai ujung fork seperti pada Gambar 2A. *Strike* memiliki berat 22.5 kg dan dijatuhkan secara bebas dari jarak 212 mm dari *fork* paling depan. Sehingga kecepatan yang dicapai oleh *strike* sebelum mengenai sepeda murni diakibatkan oleh percepatan gravitasi. Pada bagian *rear drop out* didefinisikan sebagai *fixed*.



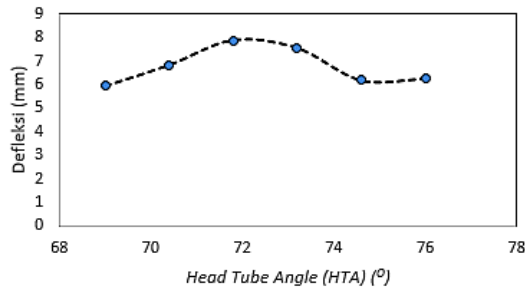
Gambar 2. Proses modelling pada ABAQUS, (a) *assembly* dan (b) *Meshing*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

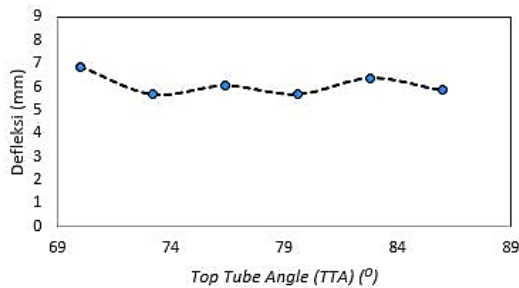
Hasil simulasi pada penelitian ini akan diambil pada daerah sesuai dengan standar EN1481. Bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Apabila daerah tersebut mengalami defleksi diatas 15 mm maka dapat dinyatakan bahwa *frame* sepeda balap tidak layak untuk digunakan.



Gambar 3. Daerah acuan defleksi

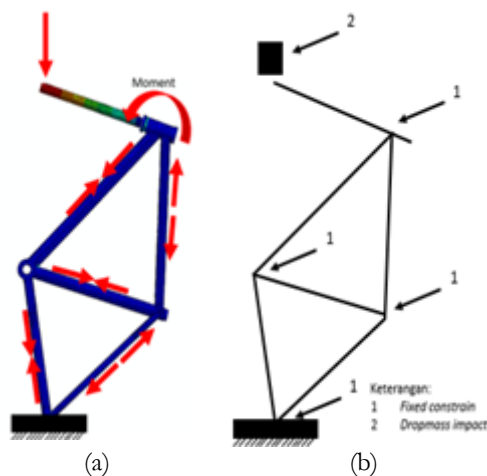


Gambar 4. Defleksi pada fork akibat modifikasi *Head Tube Angle*



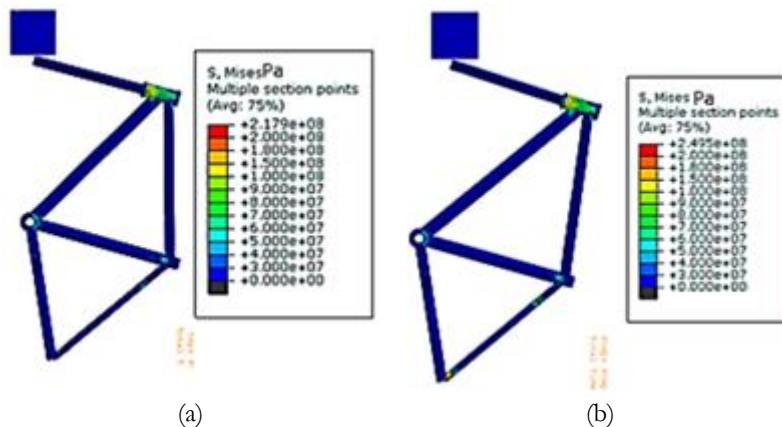
Gambar 5. Defleksi pada fork akibat modifikasi *top tube Angle*

Efek modifikasi sudut pada *head tube* dapat dilihat pada Gambar 4. Grafik tersebut menunjukkan bahwa modifikasi yang dilakukan pada *head tube angle* dengan perubahan sekitar 20° tidak menimbulkan perubahan signifikan pada kekuatan struktur rangka sepeda. Hal yang relatif sama juga terjadi ketika perubahan dilakukan pada *top tube angle*. Hasil perhitungan defleksi dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa perubahan sudut *top tube* tidak terlalu memberikan efek yang signifikan pada uji *dropmass impact* ini. Terlihat dari persebaran data, pada perubahan range sudut sebesar 20° tidak mengalami perubahan defleksi yang signifikan.



Gambar 6. Diagram: (a) persebaran gaya pada frame sepeda ketika pengujian *dropmass impac*; (b) diagram bebas

Gambar 6a menunjukkan alasan terkait perubahan defleksi yang lebih signifikan apabila dilakukan modifikasi pada head tube. *Head tube* merupakan *part* rangka sepeda awal yang akan menerima momen akibat impact pada ujung *fork*. Momen ini akan di teruskan ke *down tube (DT)* dan *top tube(TT)* berupa besaran gaya tekan dan tarik. Sehingga ada sudut tertentu pada *head tube* yang menyebabkan salah satu baik DT maupun TT tidak dapat menumpu beban secara maksimal. Dalam rentang modifikasi 20° ini terlihat bahwa sudut kritis terdapat pada HTA 72° . meski demikian, karena defleksi ini masih berada dibawah angka kritis maka *frame* sepeda ini dinyatakan aman. Selain melihat defleksi yang terjadi pada *fork*, dilakukan pula investigasi terhadap tegangan yang terjadi pada frame tersebut ketika dilakukan modifikasi *head tube angle* dan *top tube angle*. berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Zhang, 2018 terlihat bahwa tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh jenis komposit karbon T300 adalah sebesar 580 MPa. Sehingga apabila tegangan yang terjadi berada dibawah tegangan patah tersebut, dapat dikatakan *frame* tersebut aman. Gambar 7 menunjukkan besar tegangan yang terjadi pada *frame* sepeda. Tegangan terbesar terjadi pada modifikasi dengan kode H5 dan T4. Gambar 7 juga menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada *head tube* sebesar ± 150 MPa, tegangan ini masih berada dibawah tegangan ijin, sehingga dapat dikatakan perubahan HTA dan TTA ini pada range 20° tidak mempengaruhi keamanan rangka sepeda.



Gambar 7. Persebaran tegangan pada (a) H5 dan (b) T4.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi diatas dapat diketahui bahwa

1. Perubahan sudut pada *head tube* tidak mempengaruhi besarnya defleksi pada *fork* secara signifikan.
2. Dengan range sudut baik pada *top tube* maupun *head tube* sebesar 20° , tidak mempengaruhi keamanan pada rangka sepeda.

5. DAFTAR PUSTAKA

Cheng, Q., Altenhof, W., 2013, Load/Displacement and Energy Absorption Performances of AA6061-T6 Tubes Under A Cutting Deformation Mode, London, Taylor & Francis

- Covill, D., 2014, Parametric finite element analysis of bicycle Frame geometries, *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 72, 441–446.
- Engineering Report, 2001, The design, materials, manufacturing, performance and economic analysis of the ULSAB-AVC (Ultra-Light Steel Auto-Body - Advanced Vehicles Concepts). Porsche Engineering Service, Inc., 1348.
- European Standard, 2016, EN 14781 Road Bike, Safety requirement and test methods, Europe
- Junaidi, Taufik, 2016, Proses Manufaktur Sepeda Balap dari Bahan Serat Karbon dengan Metode Wrapped on Foam, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lessard, L., Nemes, J., Lizotte, P. 1995. Utilization of FEA in the design of composite bicycle, *Composites*, 26, 72-74.
- Liu, T., J., C., Wu, H., C., 2010, Fiber direction and stacking sequence design for bicycle frame made of carbon/epoxy composite laminate, *Materials and Design*, Elsevier Ltd, 31(4), 1971–1980.
- Maestrelli, L., Falsini, A., 2008, Bicycle frame optimization by means of an advanced gradient method algorithm, 2nd European HTC Strasbourg.
- Peterson, L., Londry, K., 1986, Finite-Element Structural Analysis: A New Tool for Bicycle Frame Design: The Strain Energy Design Method. *Bike Tech: Bicycling Magazine's Newsletter for the Technical Enthusiast*.
- Reynolds Technology Ltd., 2011, Steel tube materials and processes. Provided by Reynolds Technology through correspondence.
- Zhang, M., 2018, Compressive strength determined for ultrahigh modulus fiber reinforced composites by $[90/0]$ ns laminates, *Composite Structures*, Elsevier, 191, 24–35.