

## APLIKASI FINITE ELEMENT APPLICATION AND PUGH'S CONCEPT SELECTION PADA PERANCANGAN MOUNTAIN BIKE RIGID BODY

Willyanto Anggono<sup>1)</sup>, Amelia Sugondo<sup>2)</sup>, Edwin Kurniawan<sup>3)</sup>

Product Innovation and Development Centre Petra Christian University<sup>1,2,3)</sup>

Mechanical Engineering Petra Christian University<sup>1,2,3)</sup>

Jalan Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236

E-mail : [willy@petra.ac.id](mailto:willy@petra.ac.id), [amelia@petra.ac.id](mailto:amelia@petra.ac.id)

### Abstrak

*Mountain Bike adalah jenis sepeda yang umum dipergunakan oleh banyak masyarakat saat ini. Jenis mountain bike sendiri terdapat dua macam model, yaitu model rigid body dan model full suspension. Untuk sepeda dengan model rigid body umumnya memiliki sifat ringan, kuat dan kokoh. Sedangkan untuk jenis full suspension lebih cenderung didesain untuk medan berat, seperti adventure, dirt trial, dan juga medan-medan lain yang berat. Dalam penelitian ini dipilih mountain bike rigid body karena diinginkan sifat yang kokoh, kuat dan ringan. Dalam mendesain sebuah sepeda kekuatan frame harus benar-benar diperhitungkan karena hal ini merupakan hal yang sangat penting. Dalam mendesain sebuah frame sepeda pada saat frame menerima beban-beban yang bekerja, frame sepeda harus mampu menahan beban-beban yang bekerja tersebut tanpa terjadi perubahan bentuk maupun patah pada bagian frame sepeda.*

*Pengujian frame sepeda sering kali dilakukan dengan membuat terlebih dahulu rangka sepeda sesuai desain dan kemudian dilakukan pengujian kekuatannya. Jika hasil pengujian yang didapatkan tidak sesuai dengan hasil yang diinginkan maka akan dilakukan proses redesain yang pada intinya dapat menyebabkan meningkatnya nilai cost pula. Selain itu, perhitungan yang dilakukan pada frame sepeda hanya sebatas mendapat besar tegangan maksimumnya saja. Tegangan yang terjadi pada tiap-tiap posisi frame tidak diketahui. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software yang berbasis pada metode elemen hingga (Finite Element Application), sehingga besarnya tegangan maksimum dan tegangan yang terjadi pada masing-masing titik (posisi frame) dapat diketahui, serta dari hasil simulasi dapat diketahui deformasi yang terjadi pada frame.*

*Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan maksimum yang terjadi pada frame dengan pengujian beban statis dan pengujian CEN standar. Selain itu penelitian ini juga untuk mengetahui besarnya pergeseran pada head tube pada pengujian CEN standar. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan ANSYS yang merupakan software berbasis metode elemen hingga (Finite Element Application).*

*Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan lima model frame, didapatkan tegangan maksimum dan juga pergeseran head tube yang terjadi pada tiap-tiap model frame, kemudian dihitung angka keamanannya. Selanjutnya dievaluasi dengan Pugh's concept selection matrix. Berdasarkan aplikasi Finite Element Application and Pugh's concept selection didapatkan frame sepeda model pertama adalah frame sepeda yang paling optimum.*

*Kata kunci: Mountain bike rigid body, Finite Element Application, Pugh's concept selection.*

### 1. Pendahuluan

Perkembangan sekarang ini sudah beraneka macam model sepeda yang beredar dipasaran, termasuk jenis mountain bike sendiri sudah mulai muncul model-model yang lain dari model biasanya. Oleh karena itu dalam perancangannya kekuatan rangka harus benar-benar diperhitungkan, agar desain sepeda yang didapatkan tidak hanya memiliki desain yang bagus, tetapi juga memiliki kekuatan yang baik. Karena jika hal itu diabaikan maka akan dapat membahayakan bagi si pengendara tersebut. Selain itu yang sering menjadi kendala, seringkali perhitungan masih dilakukan secara manual dan juga untuk mendapatkan hasil pengujian, seringkali pengujian dilakukan dengan membuat desain terlebih dahulu baru melakukan pengujian, sehingga membutuhkan waktu dan biaya yang berlebih dalam pengujiannya. Oleh karena itu dengan metode elemen hingga hasil perhitungan yang tidak bisa diketahui melalui perhitungan secara manual dapat diketahui seperti tegangan maksimum,



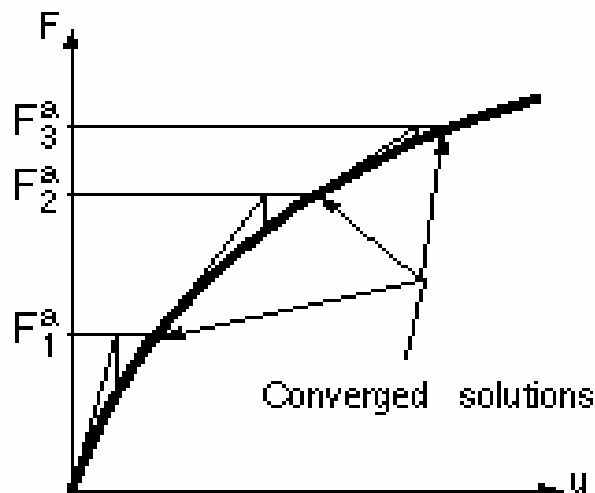
tegangan pada tiap-tiap node, dan juga besarnya pergeseran atau deformation bisa diketahui. Dan untuk perhitungan frame sepeda ini dengan perhitungan yang berbasis pada metode elemen hingga adalah cara perhitungan yang paling baik.

## 2. Tinjauan Pustaka

Metode elemen hingga adalah suatu metode yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai persoalan mekanika dengan geometri yang kompleks. Keunggulan dari metode ini adalah karena secara komputasi sangat efisien, memberikan solusi yang cukup akurat terhadap permasalahan yang kompleks, dan untuk beberapa permasalahan metode ini mungkin adalah satu-satunya cara. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Richard Courant, 1943. Dengan menggabungkan Ritz Method pada metode numerik dan minimalisasi variasi kalkulus untuk mendapatkan solusi yang tepat untuk sistem getaran. Metode ini kemudian dikembangkan lagi pada 1956, meliputi juga sistem kekerasan dan defleksi oleh material berbentuk kompleks. Pengembangan Metode Elemen Hingga pada mekanika struktur biasanya berdasar pada prinsipal energi seperti prinsipal kerja virtual dan juga prinsipal total energi potensial minimum.

Dalam aplikasinya, obyek atau sistem yang ingin diteliti diwakilkan secara geometris dengan model yang sama dimana terdiri dari kelipatan, sambungan, penyederhanaan dari daerah deskripsi. Persamaan keseimbangan dalam kaitannya dengan pertimbangan fisis yang dapat digunakan, seperti hubungan kecocokan dan konstitutif, diaplikasikan pada tiap elemen, sehingga terbentuklah sebuah sistem persamaan. Sistem persamaan ini kemudian diselesaikan menggunakan teknik linear aljabar atau perhitungan numerik non-linear, sebagaimana pantasnya. Keakuratan Metode Elemen Hingga dapat ditingkatkan dengan cara menyempurnakan mesh pada model dengan menambahkan elemen dan nodes. Metode Elemen Hingga biasanya digunakan untuk menentukan tegangan dan regangan dari benda dan sistem mekanikal. Metode Elemen Hingga dapat menyelesaikan persoalan dengan sistem kompleks yang dimana tidak dapat diselesaikan dengan perhitungan secara analitis.

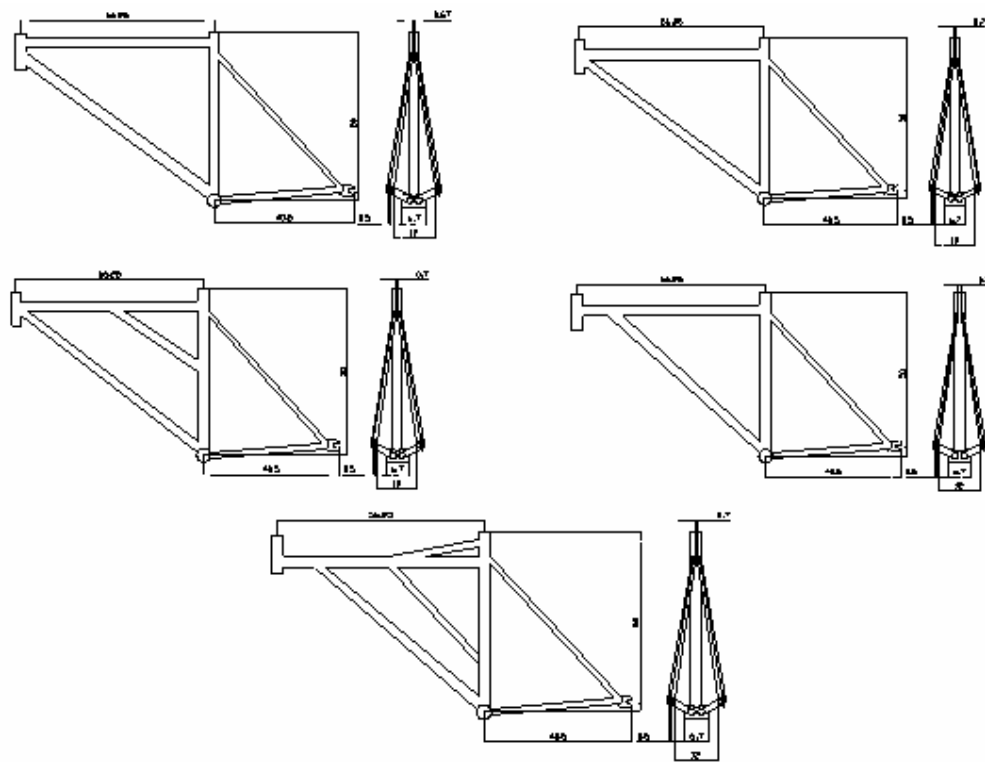
Ide utama dari metode elemen hingga adalah untuk memecahkan elemen yang sangat kompleks dengan batasan yang tidak ditentukan menjadi suatu elemen dengan batasan yang kecil. Masing-masing elemen diperhitungkan sebagai bagian dalam permasalahan utama, dengan demikian terdapat hubungan antar elemen yang saling berkaitan melalui informasi global tentang deformasi, yang biasanya berhubungan dengan karakteristik elemen. Pendekatan Newton-Raphson merupakan metode paling banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah geometri. Karena hasil yang didapatkan dalam metode ini terbukti telah memecahkan beberapa kasus yang ada.



Gambar 1. Pemecahan Masalah Dengan Menggunakan Metode Newton-Raphson

Perkembangan sekarang ini sudah semakin banyak model sepeda yang beredar di pasaran. Oleh karena itu dalam pemodelan frame sepeda ini mengikuti bentuk yang beredar dipasaran. Model yang akan dimodelkan pada perancangan ini terdiri dari lima model frame sepeda. Dimana dalam pemodelannya dipilih frame dengan size 26. Untuk dimensi dari frame yang akan dimodelkan disesuaikan dengan model frame yang beredar dipasaran pada umumnya. Model-model tersebut ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



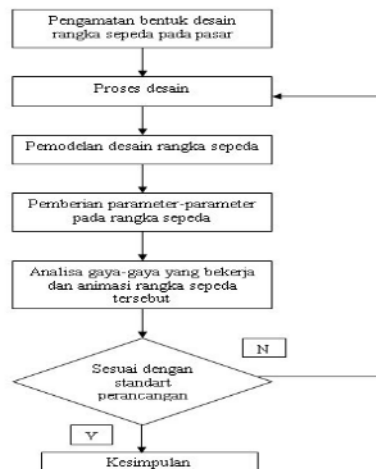


Gambar 2. Frame Model Pertama Sampai Model Ke Lima (Dari Kiri ke Kanan)

Dalam perhitungan tegangan dan regangan, ANSYS menggunakan metode elemen hingga. Dengan metode ini suatu struktur elastik kontinu dibagi-bagi (discretized) menjadi beberapa substruktur (disebut elemen). Kemudian dengan menggunakan matriks, defleksi dari tiap titik (node) akan dihubungkan dengan pembebanan, properti material, properti geometrik dan lain-lain. Analisa elemen hingga dilakukan dengan menggunakan software ANSYS. Dalam ANSYS langkah analisa dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu :

- Preprocessor dilakukan pemodelan benda yang akan dianalisa, penentuan jenis material, pemilihan tipe elemen, meshing, dan juga aplikasi beban.
- Solution permasalahan yang telah didefinisikan akan dihitung.
- General Postprocessor hasil perhitungan ditampilkan secara visual dalam bentuk kontur tegangan dan regangan.

### 3. Metodologi Penelitian



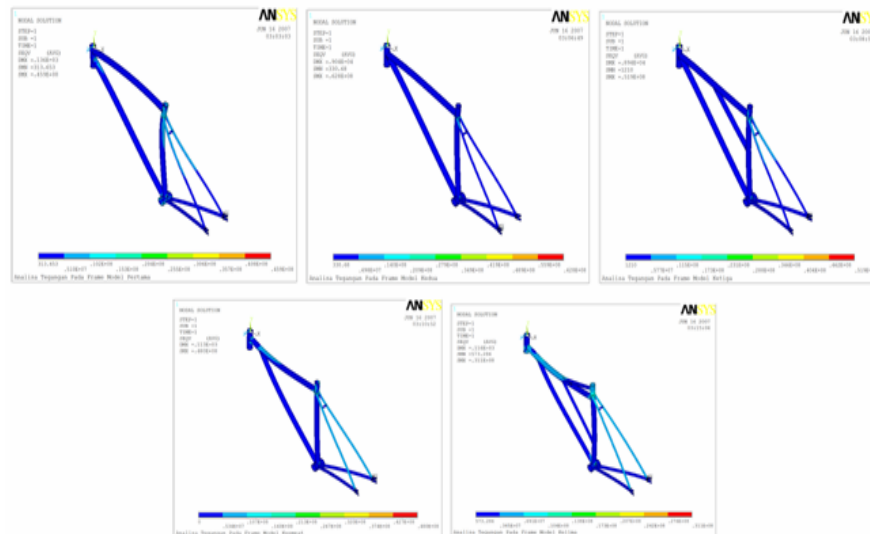
Gambar 3. Metodologi Penelitian



#### 4. Hasil dan Pembahasan

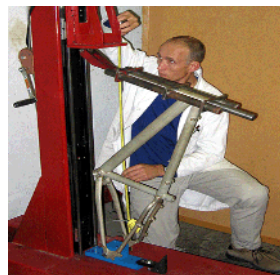
Dalam perancangan ini simulasi dilakukan pada dua pengujian yaitu untuk pengujian beban statis dan juga pengujian berdasar CEN standart. Dalam perancangan ini pengujian dilakukan pada software ANSYS yang berbasis pada metode elemen hingga.

Proses pemodelan pertama adalah proses pengujian beban statis berdasar pada pengujian Europe standart. Dimana dalam pengujiannya frame diberi boundary condition yaitu, pembebanan pada bagian atas seat stays dan juga frame diberi constrain sumbu x, y, dan z pada bagian bawah head tube dan juga rear axle. Thomas Nicolas dalam penelitiannya untuk pengujian frame sepeda pada saat beban statis juga melakukan boundary condition yang serupa. (Nicolas, 2005).



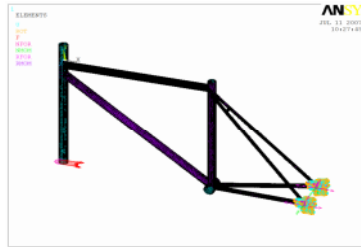
Gambar 4. Tegangan Von Misses dari tiap-tiap model frame  
(Kiri-Kanan) Model Pertama, Model Kedua, Model Ketiga, Model keempat, Model kelima

Proses pemodelan yang kedua adalah proses pemodelan untuk pengujian berdasar CEN standar pada frame sepeda. Pengujian yang dilakukan didasarkan pada pengujian yang dilakukan oleh K2 sports test laboratory ([http://www.algor.com/news\\_pub/cust\\_app/k2\\_sports/default.asp](http://www.algor.com/news_pub/cust_app/k2_sports/default.asp)). Pengujian yang dilakukan oleh K2 sports test laboratory adalah dengan memberi penambahan konstruksi pada head tube, kemudian memberikan penekanan sebesar 22.5 Kg. Pengujian tersebut didasarkan pada European standard (CEN/TC333/WG2). Dimana dalam pengujian diberikan beban sebesar 22.5 Kg dan setelah proses pengujian selesai pada bagian head tube tidak boleh terjadi pergeseran lebih dari 10 mm. Jika hal ini terjadi maka, frame dikatakan gagal. Pengujian yang dilakukan ini didasarkan pada kenyataan jika ban sepeda bagian depan menghantam batu atau jalan berlubang pada saat dikendarai.

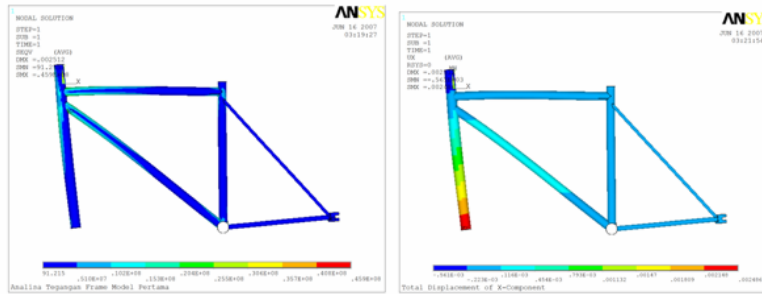


Gambar 5. Penyederhanaan Pengujian Pada Frame Sepeda oleh K2 sports test laboratory

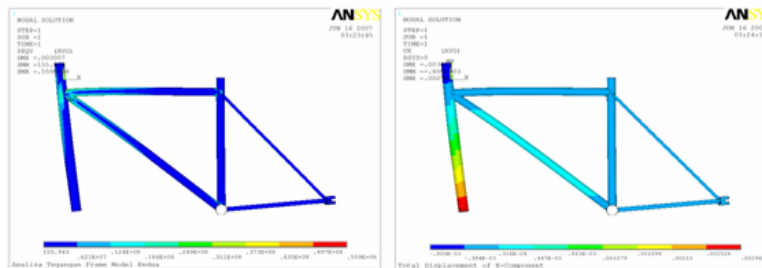
Boundary condition untuk pengujian berdasarkan CEN standar ini dengan memberikan constrain sumbu x, y, dan z pada bagian rear axle dan memberi pembebanan searah sumbu-x pada bagian bawah dari penambahan konstruksi pada head tube.



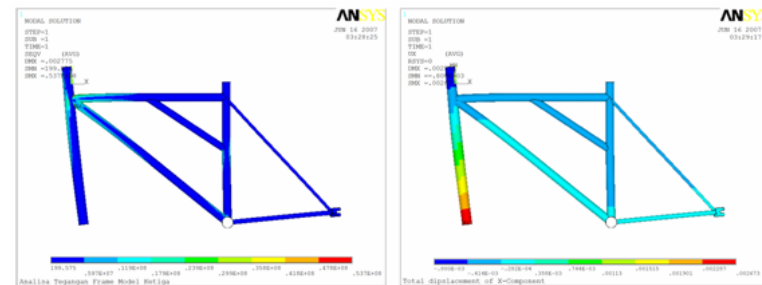
Gambar 6. Penetapan Displacement dan Pemberian Pembebanan



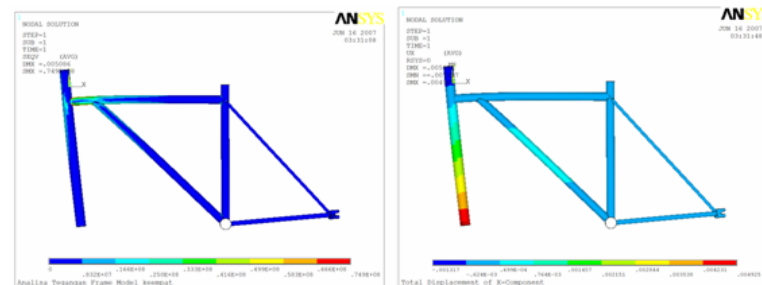
Gambar 7. (Kiri-Kanan) Tegangan Von Misses dan Total displacement sumbu-X Model Pertama



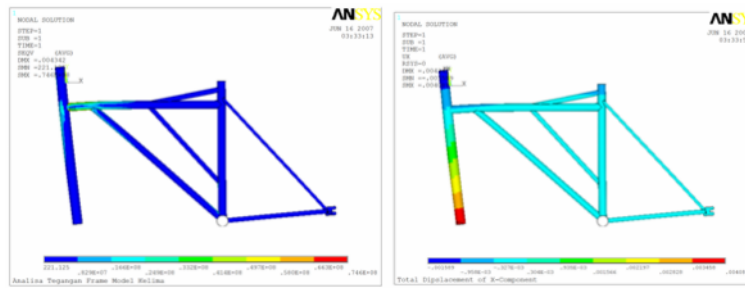
Gambar 8. (Kiri-Kanan) Tegangan Von Misses dan Total displacement sumbu-X Model Kedua



Gambar 9. (Kiri-Kanan) Tegangan Von Misses dan Total displacement sumbu-X Model Ketiga



Gambar 10. (Kiri-Kanan) Tegangan Von Misses dan Total displacement sumbu-X Model Keempat



Gambar 11. (Kiri-Kanan) Tegangan Von Misses dan Total displacement sumbu-X Model Kelima

Pemilihan model bertujuan untuk memilih satu model dari kelima model yang ada, dimana tegangan maksimum tidak menjadi satu-satunya kriteria penentu melainkan ada tiga kriteria lainnya yang digunakan sebagai penentu: Tegangan Maximum, Pergeseran Head Tube, Proses Produksi, Weight (Keringanan Frame). Berikut adalah data-data dari hasil simulasi dengan menggunakan software ANSYS.

Tabel I. Tegangan Maximum, Safety Factor, Pergeseran Head Tube, dan Weight dari masing-masing Model

Model	Frame	Beban Statis		CEN Standart		Pergeseran head tube (mm)	Weight (Kg)
		Teg.max (σ) Mpa	S.factor	Teg.max (σ) Mpa	S.factor		
1.	Frame model pertama	45.9	6.01	45.9	6.01	-0.27517	2.2
						0.14303	
2.	Frame model kedua	62.8	4.39	55.9	4.93	-0.42464	2.18
						0.11615	
3.	Frame model ketiga	51.9	5.35	53.7	5.14	-0.45834	2.39
						0.03226	
4.	Frame model keempat	48	5.75	74.9	3.68	-0.63466	2.11
						0.37485	
5.	Frame model kelima	31.1	8.87	74.6	3.7	-0.95436	2.27
						0.0395	

Safety factor yang memiliki nilai dibawah 3, dikatakan bahwa model tersebut tidak aman dan tidak akan dipilih. Hal ini didasarkan dalam perancangan sebuah frame sepeda safety factor yang diinginkan harus lebih besar dari 3, karena material tersebut harus mampu menahan beban tanpa adanya perubahan bentuk ataupun patah. Sedangkan data pada tabel untuk pergeseran pada head tube nilai negatif menandakan pergeseran yang terjadi pada bagian head tube atas kiri dan arah yang berlawanan sumbu-x atau kearah kiri. Sedangkan nilai positif menandakan pergeseran pada head tube kiri bawah dengan arah pergeseran searah sumbu-x atau kekanan.

Kriteria-kriteria diatas akan dibandingkan antara model yang satu dan model yang lain dengan menggunakan Pugh's weighted decision matrix dengan skala pengukuran 5-point scale weighing factor. Dengan hasil sebagai berikut:

Tabel II. Matrix Pugh's Concept Selection Pemilihan Model Frame Akhir

Model		M. Pertama		M. Kedua	
Criteria	Weighing Factor	Individual Value	Weighing Value	Individual Value	Weighing Value
Safety Factor (N)	4	4	16	2	8
Head Tube	3	4	12	3	9
Proses Produksi	2	3	6	3	6
Weight	2	4	8	4	8
Total Weighing Value			42		31

Model		M. Ketiga		M. Keempat	
Criteria	Weighing Factor	Individual Value	Weighing Value	Individual Value	Weighing Value
Safety Factor (N)	4	3	12	2	8
Head Tube	3	3	9	2	6
Proses Produksi	2	2	4	3	6
Weight	2	4	8	4	8
Total Weighing Value			33		28

Model		M. Kelima	
Criteria	Weighing Factor	Individual Value	Weighing Value
Safety Factor (N)	4	4	16
Head Tube	3	1	3
Proses Produksi	2	1	2
Weight	2	4	8
Total Weighing Value			29

Berdasarkan dari tabel perbandingan Pugh's weighted decision matrix didapatkan bahwa frame model pertama memiliki nilai tertinggi yaitu 42. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa frame model pertama adalah frame model terbaik berdasarkan dari kriteria-kriteria yang telah ditentukan.

## **5. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan lima model frame, didapatkan tegangan maksimum dan juga pergeseran head tube yang terjadi pada tiap-tiap model frame, kemudian dihitung angka keamanannya. Selanjutnya dievaluasi dengan Pugh's concept selection matrix. Berdasarkan aplikasi Finite Element Application and Pugh's concept selection didapatkan frame sepeda model pertama adalah frame sepeda yang paling optimum.

## **Daftar Pustaka**

- [1] Beer, Ferdinand P. and Johnston, E Russel., Mekanika untuk Insinyur : Statika edisi keempat Penerbit Erlangga, Jakarta (1991)
- [2] Logan, Daryl L, A First Course in The Finite Element Method, PWS Publishing Company, Boston, (1996)
- [3] Deutschman, Aaron D, Machine Design Theory and Practice, Macmillan Publishing Co, Inc, New York, (1975)
- [4] Dobrovolsky. V, Zablonky. K, Mak. S, Radchik. A and Erlikh. L, Machine Elements A Text Book, translated from the Russian by Troitsky. A, second printing, Peace Publishers, Moscow, (1982)
- [5] Hertzberg. W Richard, Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, third edition, John Wiley and Sons<sup>st</sup>, (1986)
- [6] Krutz, Gary W., Schueller John K., and Claar, Paul W. (1994). Machine Design for Mobile and Industrial Applications. USA: Society of Automotive Engineers, Inc.
- [7] Kurniawan, Edwin; Perancangan Mountain Bike Rigid Body Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra, Surabaya, (2007)
- [8] Nicolas, Thomas. (2005). Bicycle Final Report. Maret 12, 2007  
<http://www.louisville.edu/~twnico01/ME%20612%20bike%20final%20report/ME%20612%20bike%20final%20report.htm>
- [9] Roskam Jan; Airplane design, part IV, layout design of landing gear system, Roskam aviation & engineering corp. 1<sup>st</sup>, (1986)
- [10] Science and Cycling. (n.d.). Frames and materials., page1. Maret 16, 2007  
<http://www.exploratorium.edu/Cycling/frames1.html>
- [11] Singer Ferdinand. L; Strength of Materials, second edition, Harper and Row Publisher; New York, Evanston, and London, (1962)
- [12] Wikipedia ensiklopedia bebas. (2006). Bicycle Frames. 16 Maret, 2007  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle\\_frame](http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_frame)

