

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

## **M7-006 ANALISA PEMBEBANAN DINAMIS RANGKA SEPEDA LIPAT (SeliqUI)**

**Hendri D.S. Budiono, Iskandar Muda, Dedy Rachmat**

Laboratorium Manufaktur  
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI Depok  
e-mail : [hendri@eng.ui.ac.id](mailto:hendri@eng.ui.ac.id)

### **ABSTRAK**

*Pemanasan global saat ini menjadi suatu ancaman serius masyarakat dunia karena diyakini dapat mengganggu pembangunan ekonomi, masyarakat dan ekosistem secara luas. Salah satu upaya Stop Global Warming adalah mengurangi gas buang kendaraan bermotor dengan meng kampanyekan penggunaan alat transportasi tanpa polusi seperti sepeda untuk bepergian dan bekerja. Alasan tersebut tentunya merupakan peluang dan tantangan untuk tumbuhnya kembali industri sepeda umumnya dan sepeda lipat khususnya di Indonesia.*

*Penelitian ini merupakan rangkaian penelitian sepeda lipat yang sudah dilakukan sebelumnya dengan titik berat penelitian adalah pengukuran besarnya tegangan pada rangka dari prototipe sepeda lipat yang menggunakan material ST 37 dengan Modulus Elastisitas sebesar  $2,10 \times 10^5$  Mpa dilakukan pada kondisi dinamis, sehingga dapat dilihat karakteristik disain terhadap variabel pembebahan kejut dan berulang dalam suatu fungsi waktu. Analisa besar tegangan yang dihasilkan tentunya akan sangat berarti untuk dapat mengevaluasi kemungkinan perubahan disain terhadap prototipe yang ada. Pengujian dilakukan dengan mengendarai sepeda melewati suatu tanggul dengan kecepatan 20 km/jam. Berdasarkan hukum Hooke, tegangan diperoleh melalui pengukuran regangan dari strain gage. Keakuratan pengukuran tergantung dari beberapa hal seperti pedefinisian beban, pemilihan jenis strain gage, jenis jembatan wheatstone, kekasaran permukaan dan metode penempelan strain gage. Pemodelan menggunakan Autodesk Inventor 2008 yang didalamnya terintegrasi software analisis ANSYS dilakukan untuk mendapatkan gambaran posisi penempelan strain gage yang tepat*

*Pengolahan data menghasilkan besarnya stress pada rangka berkisar antara -4,83 Mpa dan 275,1 Mpa dalam bentuk tensile stress. Sedang pengolahan data FEM menghasilkan faktor keamanan minimum untuk masing-masing rangka batang berkisar antara 0,2866 hingga 15,0*

*Kata kunci: pengujian dinamis, strain gage, sepeda lipat, stress, strain*

## 1. PENDAHULUAN

Isu pemanasan global saat ini menjadi isu yang paling hangat dibicarakan dan menjadi perhatian utama masyarakat dunia. Menurut laporan para ilmuwan dari *UN's Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) di dalam konferensi di bali pada Desember 2007 lalu, secara jelas menyebutkan bahwa perubahan iklim global adalah suatu kenyataan dan secara serius dapat mengganggu pembangunan ekonomi, masyarakat dan ekosistem secara luas.

Dalam rangka merelisasikan komitmennya mengurangi dampak pemanasan global, pemerintah RI telah menyusun beberapa program, antara lain *Stop Global Warming* dengan salah satunya mengupayakan pengurangan pemakaian kendaraan pribadi yang banyak menghasilkan polusi dan berupaya menggantikannya dengan pembangunan jalur *Trans Jakarta Busway*, rencana pembangunan monorail dan subway di propinsi DKI Jakarta, termasuk mengkampanyekan penggunaan sepeda untuk bepergian dan bekerja dengan dukungan komunitas pengguna sepeda terbesar di Indonesia *Bike to Work*.

Untuk beralih dari kendaraan pribadi kepada penggunaan sepeda ternyata tidak mudah, jarak yang cukup jauh menuju tempat tujuan ternyata harus ditempuh dengan mengkombinasikan penggunaan sepeda dan moda transportasi lain agar memperkecil waktu tempuhnya. Disain sepeda yang dapat dilipat dijadikan suatu alternatif pilihan, sehingga pengguna dapat berangkat dari rumahnya menggunakan sepeda sampai ke stasiun atau halte terdekat, kemudian melipat sepedanya dan membawanya naik kereta atau bus ke tempat tujuannya. Sesampainya di stasiun atau halte, pengguna dapat membuka kembali sepedanya dan bersepeda ke kantor atau kampus yang dituju.

Salah satu tantangan dalam merancang sepeda lipat adalah merancang sambungan dan pengunci yang aman. Sehingga diperlukan pengujian kekuatan sambungan terhadap beban yang diterima dan kondisi jalan yang akan dihadapi. Pengujian ini diharapkan dapat menghasilkan data-data yang bermanfaat sebagai evaluasi dan masukan bagi pengembangan selanjutnya.

Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu membuat prototipe sepeda lipat dan kemudian mengujinya sehingga dapat dianalisa apakah disain yang telah di buat sudah aman, nyaman, dan sesuai untuk digunakan.

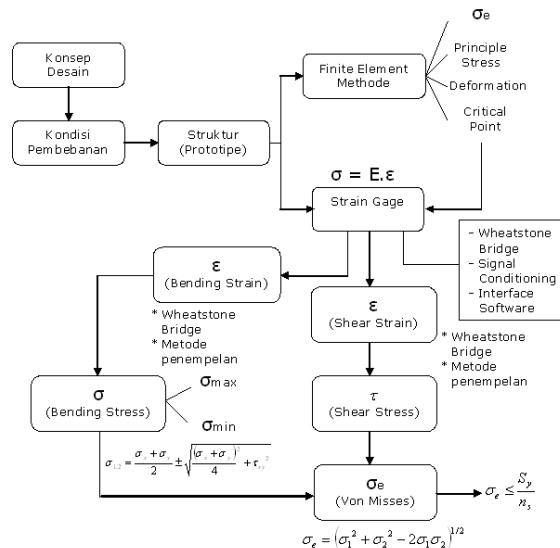
## 2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini, yaitu :

1. Memperoleh data simulasi dengan menggunakan *software Autodesk Inventor* 2008 dan perhitungannya dengan metode *Finite Element* oleh software ANSYS yang telah terintegrasi di dalamnya.
2. Mengetahui titik-titik kritis yang terjadi pada setiap batang ada rangka sepeda yang digunakan sebagai titik yang akan diuji dengan menggunakan strain gage
3. Mengetahui karakteristik setiap batang yang digunakan pada rangka sepeda melalui strain yang didapat dari hasil pengujian dinamis dengan menggunakan *strain gage*
4. Memberikan masukan untuk pengembangan selanjutnya

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Input pada penelitian ini adalah konsep desain yang telah ada sebelumnya, kemudian dilakukan pendefinisian pembebanan kembali. Proses pengukuran dilakukan dengan memasang sensor *Strain Gage* pada prototipe berdasarkan informasi yang diperoleh dari olahan data *Finite Element*. Outputnya berupa data *strain* (regangan) yang dapat diolah menjadi *stress* (tegangan). Dari data tersebut dapat dilakukan prediksi kegagalan terhadap desain sambungan.

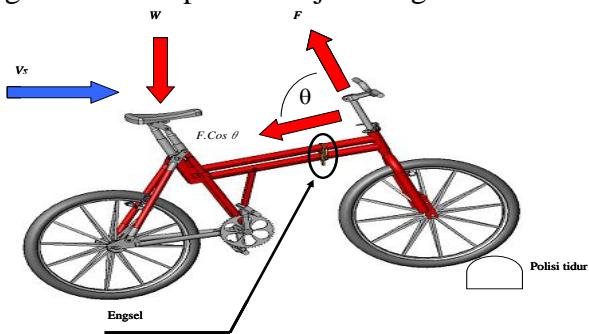


### Gambar 1 Metodologi Penelitian

## 4. Penggunaan Metode Finite Elemen

#### 4.1. Analisis Gaya Pada Sepeda Pada Saat Menabrak Tangul

Rangka sepeda adalah komponen utama sepeda yang menopang gaya-gaya yang terjadi. Gaya-gaya tersebut terjadi akibat adanya beban yang merupakan gaya berat orang yang menaikinya dan akibat sepeda yang memiliki kecepatan berjalan pada kontruksi jalan yang tidak rata seperti ditunjukkan gambar 2 dibawah ini



Gambar 2 Free Body Diagram Sepeda Melewati tanggul

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

Pada saat sepeda menabrak tanggul maka akan terjadi gaya yang arahnya searah stang dan gaya yang berlawanan dengan arah kecepatan sepeda. Pada saat inilah rangka sepeda tersebut akan dianalisa.

## 4.2. Pemodelan

Analisa dengan menggunakan *software Autodesk Inventor* 2008 bertujuan untuk melihat pengaruh kecepatan sepeda dan kondisi jalan terhadap perubahan tegangan pada struktur rangka sepeda. Kondisi pemodelan akan disamakan dengan pengukuran secara nyata dengan menggunakan *strain gage*. Berikut ini adalah variabel-variabel yang disamakan dengan kondisi nyata, yaitu 1. desain sepeda, 2. material rangka sepeda, 3. kecepatan, 4. kondisi jalan dan tanggul, 5. beban.

Pada pemodelan dengan menggunakan software ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu pada model material diasumsikan, yaitu : *Linear, Konstan, Homogeneous, Isotropic*

## 5. Pengukuran Dinamis Menggunakan Strain Gage

### 5.1. Pengukuran Kekasaran Permukaan

Sebelum dilakukan pemasangan sensor, permukaan benda uji harus dipersiapkan terlebih dahulu. Ini sangat penting karena *Strain Gage* memiliki syarat kekasaran permukaan yang diizinkan. Ini untuk menjamin akurasi data yang diperoleh, dengan permukaan yang semakin halus, maka diharapkan *Strain Gage* akan menempel sempurna dan mengalami kondisi yang uniform atau seragam sehingga data yang diperoleh lebih akurat. Untuk pengujian umum seperti ini, syarat kekasaran yang dibutuhkan yaitu 1,6 – 3,2 mikrometer dengan parameter kekasaran permukaan rms (*root-mean-square*).

| Class of Installation   | Surface Finish, rms microinch | Surface Finish, rms micrometer |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| General stress analysis | 63 - 125                      | 1.6 - 3.2                      |
| High elongation         | >250*                         | >6.4*                          |
| Transducers             | 16 - 63                       | 0.4 - 1.6                      |
| Ceramic cement          | >250                          | >6.4                           |

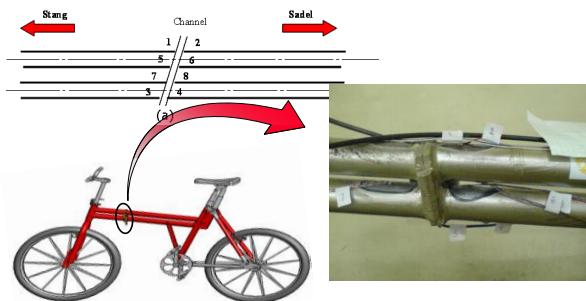
Gambar 3 Tabel syarat kekasaran permukaan untuk pengujian menggunakan *Strain Gage*. Sumber: : [www.measurementsgroup.com](http://www.measurementsgroup.com)

Untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan, benda harus diuji menggunakan *Roughness Tester*. Panjang sample untuk pengukuran kekasaran yaitu sepanjang 6 mm, sesuai dengan panjang kepala dari *Strain Gage*. Dengan pengukuran menggunakan parameter *Rq* (*Root Mean Square Parameter*) pada panjang sample 6 mm didapatkan nilai kekasarannya yaitu 0,24  $\mu\text{m}$ . Dengan hasil tersebut maka, kekasaran permukaan benda uji sudah sesuai dengan syarat penempelan strain gage.

### 5.2. Penempelan Strain Gage

*Strain Gage* ditempel pada titik-titik kritis pada sambungan lipatan batang utama dan batang lain pada rangka sepeda, sehingga total adalah 14 titik. Titik-titik kritis

didapatkan dari simulasi dan analisis menggunakan *Finite Element*. Berikut ini adalah contoh lokasi penempelan strain gage pada batang utama yang menjadi tinjauan utama.



Gambar 3 skema lokasi penempelan strain gage dan foto lokasi dan penomoran titik

### 5.3. Kalibrasi

Metode kalibrasi yang digunakan yaitu dengan menggunakan kalibrator eksternal, yang fungsinya menghasilkan sinyal elektrik ekuivalen terhadap regangan tertentu. Sinyal ini merupakan daya jembatan yang dinyatakan dalam mV/V. Metode ini merupakan metode yang praktis dan akurat karena mampu mengeliminir kesalahan akibat pemakaian kabel yang panjang.

Proses yang dilakukan yaitu memberikan variasi perbandingan tegangan eksitasi input-output dengan menggunakan kalibrator eksternal dan membandingkannya dengan nilai tegangan teoritis. Tegangan teoritis dapat diperoleh berdasarkan konfigurasi *wheatstone bridge* yang dipakai. Rangkaian *wheatstone bridge* yang dipakai yaitu 1-gage 3-wire dengan persamaan tegangan untuk 1-gage system yaitu:

$$e = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \cdot E$$

$$\text{atau: } e = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \varepsilon_1 \cdot E$$

Dimana:

K = Gage factor

E = Tegangan input

e = Tegangan output

Dengan menggunakan kalibrator eksternal, yang akan diberikan adalah variasi e/E, sehingga pada data logger dapat dibaca berapa besar  $\varepsilon$  (strain) yang kemudian dibandingkan dengan nilai teoritisnya yang diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\frac{E}{e} = \frac{4}{K \cdot \varepsilon_1}$$

$$b \frac{mV}{V} = \frac{b}{1000} = \frac{4}{K \cdot \varepsilon_1}$$

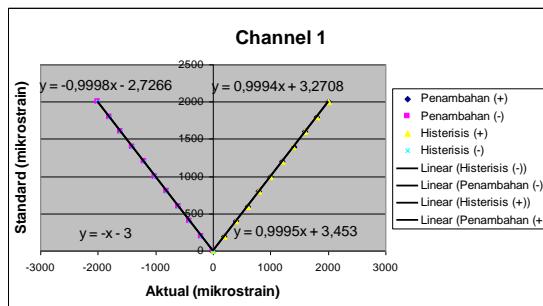
sehingga:

$$\varepsilon_1 = \frac{4000}{K \cdot b}$$

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

dimana nilai b adalah bentuk perbandingan tegangan output dengan tegangan input yang diberikan oleh kalibrator eksternal. Hasil kalibrasinya Channel 1 diperlihatkan seperti gambar 4 dibawah



Gambar 4 Kalibrasi Channel 1

Persamaan linierisasi untuk Channel 1 yaitu:

$$\text{Penambahan (+)} : y = 0,9994x + 3,2708$$

$$\text{Penambahan (-)} : y = -0,9998x - 2,7266$$

$$\text{Histerisis (+)} : y = 0,9995x + 3,453$$

$$\text{Histerisis (-)} : y = -x - 3$$

Selanjutnya Persamaan hasil kalibrasi untuk channel 3-4 adalah sebagai berikutn:

## Kalibrasi Channel 2

Persamaan linierisasi untuk Channel 2 yaitu:

$$\text{Penambahan (+)} : y = 0,9997x + 3,5902$$

$$\text{Penambahan (-)} : y = -1,0005x - 3,3649$$

$$\text{Histerisis (+)} : y = 0,9997x + 3,4992$$

$$\text{Histerisis (-)} : y = -1,0002x - 3,0913$$

## Kalibrasi Channel 3

Persamaan linierisasi untuk Channel 3 yaitu:

$$\text{Penambahan (+)} : y = 1,0004x + 1,4099$$

$$\text{Penambahan (-)} : y = -0,9998x - 0,2721$$

$$\text{Histerisis (+)} : y = 1,0005x + 1,2281$$

$$\text{Histerisis (-)} : y = -0,9999x - 0,2267$$

## Kalibrasi Channel 4

Persamaan linierisasi untuk Channel 4 yaitu:

$$\text{Penambahan (+)} : y = 1,0002x + 1,6824$$

$$\text{Penambahan (-)} : y = -1,0001x - 0,8173$$

$$\text{Histerisis (+)} : y = 1,0002x + 1,7735$$

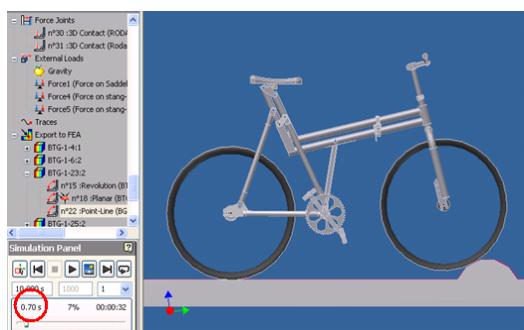
$$\text{Histerisis (-)} : y = -1,0001x - 0,9534$$

## 6. Data Hasil Pengujian dan Analisis

### 6.1. Hasil Finite Element

Parameter-parameter yang dapat diperoleh dari hasil pemodelan dengan menggunakan software Autodesk Inventor dan ANSYS adalah distribusi *stress*, distribusi deformasi, dan distribusi faktor keamanan (*safety factor*). Distribusi *stress* terdiri dari tiga yaitu maksimum *principal stress*, *minimum principal stress*, dan *equivalent stress (von misses)* yang merupakan kombinasi dari kedua distribusi stress sebelumnya. Kemudian nilai faktor keamanan didapatkan dengan membagi nilai *yield strength* material dibagi dengan nilai *von misses*. Hal ini dikarenakan material bersifat ductile jadi kriteria *von misses* lebih tepat untuk digunakan.

Nilai- nilai parameter tersebut diambil pada saat sepeda tepat melewati tanggul. Dengan kecepatan sepeda 20 km/jam. Jarak tempuh sepeda sampai ke tanggul adalah 4 m sehingga waktu tempuh untuk sampai ke tanggul berdasarkan perhitungan adalah 0,719 s dan dari simulasi roda depan sepeda akan tepat melewati tanggul pada waktu 0,7 s. Hal tersebut ditunjukkan dengan gambar 5 berikut:

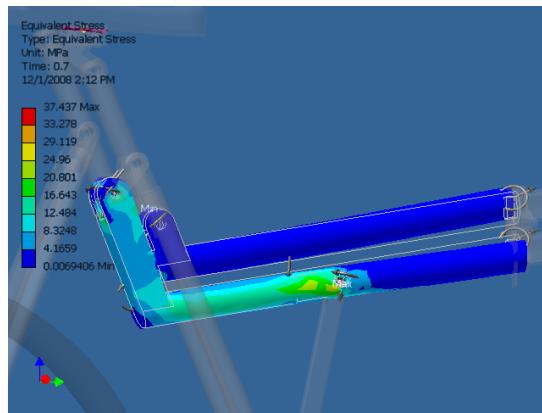


Gambar 5 Sepeda melewati tanggul

Kemudian pada waktu tersebut, diambil data untuk seluruh rangka sepeda dan menghasilkan besar *equivalent stress* setiap batang yang ada di rangka sepeda dengan titik berat pada batang utama dan batang utama depan (terdapat sambungan)

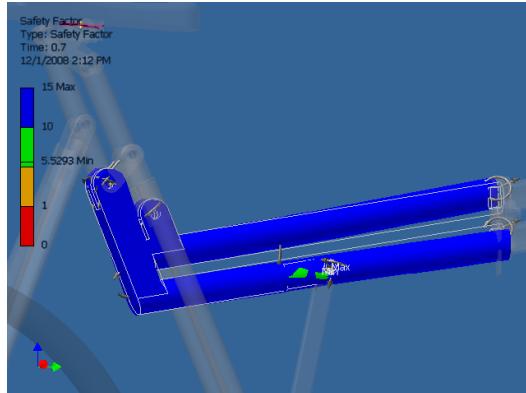
#### a. Batang Utama

Batang ini akan menerima beban dari batang sadel yang menopang berat orang yang menaiki sepeda. Batang ini kemudian ditahan oleh batang penyangga dan dua buah batang segitiga depan. Gaya yang bekerja pada batang ini kemudian akan mengakibatkan stress pada batang ini. Distribusi stress pada batang ini ditunjukkan gambar berikut:



Gambar 6 *Equivalent stress* batang utama

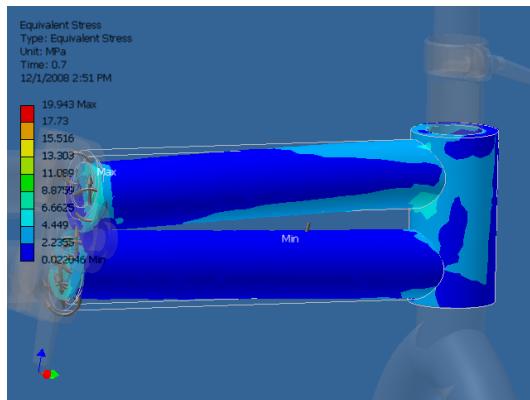
Pada batang ini stress maksimum berada pada titik hubungan antara batang ini dengan batang penyangga. Nilai stress maksimumnya pada batang ini adalah 29 Mpa. Kemudian nilai keamanan dari batang ini ditunjukkan gambar berikut:



Gambar 7 faktor keamanan batang utama

Dari gambar tersebut didapatkan nilai keamanan dari batang ini adalah relatif besar. Dengan menggunakan material steel dengan *Yield strength* sebesar 207 MPa faktor keamanan yang paling kecil adalah 5,5293. Sehingga batang ini dapat dinyatakan aman pada semua titik dalam kondisi pembebanan dinamis yang diberikan.

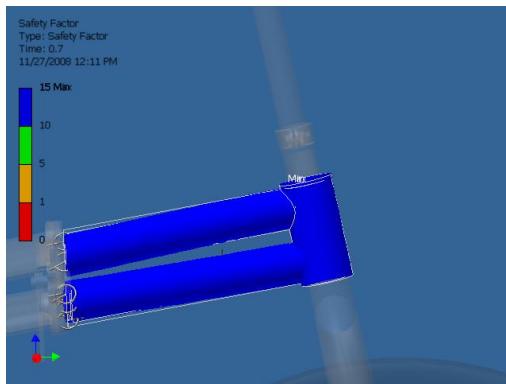
Pada Batang utama depan gaya dari batang utama akan diteruskan dengan melalui sambungan. Pada batang ini juga terjadi gaya kontak antara roda dengan tangkul sehingga akan terjadi rambatan gaya dari roda lalu garpu depan dan ke batang utama bagian depan. Distribusi *stress* pada batang ini adalah sebagai berikut :



Gambar 8 *Equivalent stress* batang utama depan

Sama dengan *principal stress*, *stress* maksimum terjadi pada daerah yang berhubungan dengan pengunci sedangkan daerah minimum *stress* untuk batang ini berada pada pertengahan batang. Nilai maksimum pada batang ini adalah 19,943 MPa sedangkan nilai minimumnya 0,022 MPa.

Kemudian nilai keamanan dari batang ini ditunjukkan gambar berikut:



Gambar 9 Faktor keamanan batang utama depan

Dari gambar tersebut terlihat bahwa faktor keamanan dari batang sangat tinggi yaitu 15. Dengan demikian batang ini akan sangat aman terhadap kondisi pembebahan dinamis yang dilakukan.

Besar equivalent stress untuk seluruh batang diperlihatkan pada table 1 dibawah

Tabel 1 Nilai *stress* dan *strain* masing-masing batang

| No | Nama               | <i>Equivalent stress</i> (MPa) |       |
|----|--------------------|--------------------------------|-------|
|    |                    | Min                            | Max   |
| 1  | Batang utama       | 6.941 e-003                    | 37.44 |
| 2  | Batang utama depan | 2.205 e-002                    | 19.94 |
| 3  | Garpu              | 0.1708                         | 722.3 |

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

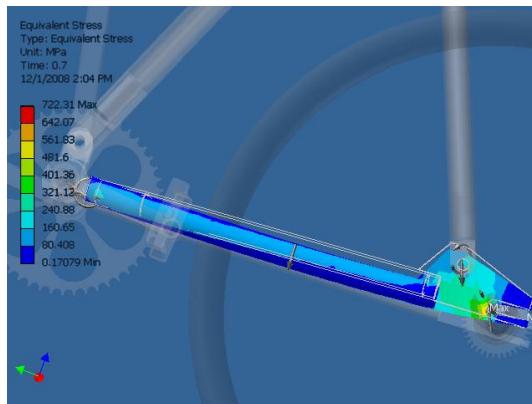
|   |                          |             |       |
|---|--------------------------|-------------|-------|
|   | belakang                 |             |       |
| 4 | Batang penyangga         | 0.2415      | 182.1 |
| 5 | Batang sadel             | 1.086 e-002 | 3.065 |
| 6 | Batang segitiga depan    | 3.055 e-003 | 4.535 |
| 7 | Batang segitiga belakang | 1.737 e-002 | 143.8 |

Dengan masing masing menghasilkan faktor keamanan seperti tabel 2 dibawah ini

Tabel 2 Faktor keamanan batang

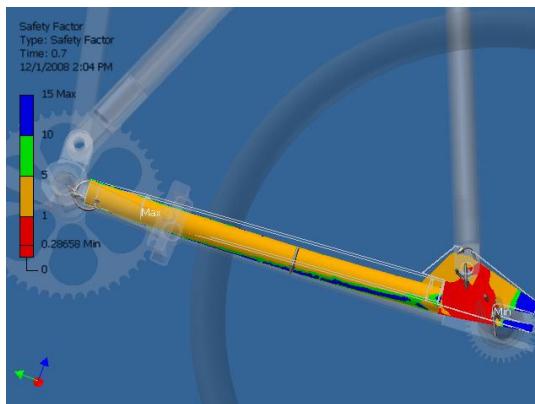
| No | Nama komponen            | Min safety factor | keterangan  |
|----|--------------------------|-------------------|-------------|
| 1  | Batang utama             | 5,529             | aman        |
| 2. | Batang utama depan       | 10,38             | Sangat aman |
| 3  | Garpu belakang           | 0.2866            | Kurang aman |
| 4  | Batang penyangga         | 1.137             | aman        |
| 5  | Batang sadel             | 15.0              | Sangat aman |
| 6  | Batang segitiga depan    | 15.0              | Sangat aman |
| 7  | Batang segitiga belakang | 1.44              | aman        |

Dari tabel 2 terlihat bahwa satu batang yang kurang aman, yaitu garpu belakang. Pada batang ini tumpuan berada pada bagian yang di las (sebelah kiri gambar 10) dan pada poros roda (sebelah kanan). Gaya akan diberikan dari batang segitiga depan dan batang segitiga belakang yang merupakan beban dari berat orang dengan berat material rangka diatasnya. Selain itu garpu belakang ini juga akan mengalami gaya dorong dari poros roda dan gaya reaksi pada saat sepeda melewati tangkul. Distribusi *stress* pada batang ini adalah :



Gambar 8 Equivalent stress garpu belakang

Dari gambar di atas ditunjukkan bahwa nilai maksimum berada pada batang ini dengan poros roda dengan nilai 561,83 MPa dan nilai minimum pada bagian bawah dengan nilai 0,17 MPa. Kemudian nilai keamanan dari batang ini ditunjukkan gambar berikut:

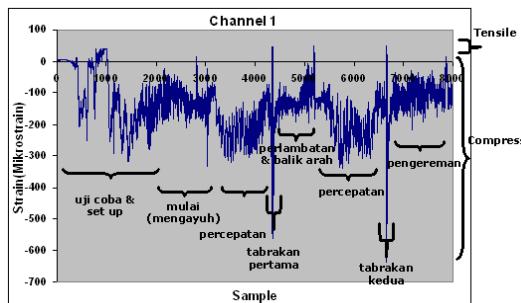


Gambar 10 Faktor keamanan garpu belakang

Dari gambar tersebut ditunjukkan bahwa batang ini memiliki faktor keamanan yang kecil sebesar 0,296 MPa. Sehingga batang ini akan terjadi deformasi plastis dari pembebangan yang diberikan.

## 6.2. Hasil Pengujian dengan Strain Gage

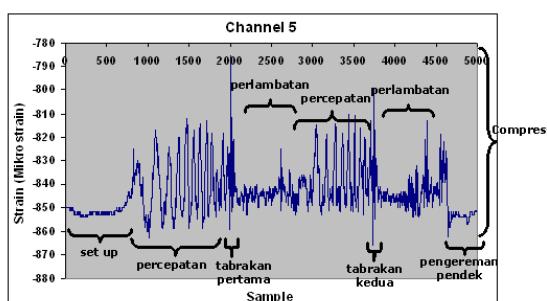
Hasil pengujian pertama untuk channel 1-4 menghasilkan karakterisasi grafik yang sama dan menggambarkan nilai strain yang didapat pada setiap channel, gambar 8 adalah contoh analisis dan interpretasi grafik berdasarkan kondisi yang dialami ketika pengujian yang diperoleh dari pencatatan waktu dan analisis video rekaman.



Gambar 11 Analisis Grafik Channel 1

Pada gambar grafik di atas dapat dilihat bagian-bagian grafik yang menggambarkan proses yang terjadi. Bagian pertama adalah gambaran kondisi ketika melakukan set-up. Adapun proses nulling/initiation telah dilakukan sebelumnya. Data pada grafik hanya menampilkan kondisi setelah terbebani dalam hal ini penguji sudah menduduki sadel. Setelah pedal mulai dikayuh dan mengalami percepatan, dapat kita lihat grafik mengalami osilasi yang padat, ini menunjukkan perubahan *compress* dan *tensile* yang terjadi dalam waktu yang cepat dalam frekuensi yang tinggi dimana waktu setiap sample adalah 10 milisecond atau 0,01 detik Perubahan *compress* dan *tensile* yang berosilasi ini karena perubahan titik massa ketika mengayuh pedal. Ketika mengalami percepatan, batang mengalami *compression* yang semakin besar sampai kemudian ada lonjakan yang sangat besar dan sangat singkat yaitu ketika terjadi tabrakan dengan tanggul. Setelah mengalami tabrakan, sepeda dibiarkan melambat kemudian berbalik arah dan menabrak sekali lagi. Selanjutnya setelah tabrakan kedua proses penurunan kecepatan dilakukan lebih cepat dengan pengereman. Secara keseluruhan keempat titik ini mengalami *compress* atau tekan yang berarti keempat batang terdeformasi ke arah luar atau mengalami split.

Dari pengujian kedua diperoleh data channel 5-8. Berdasarkan data channel 1-4 yang menunjukkan fenomena dimana keempat batang mengalami deformasi ke arah luar atau split, maka idealnya titik 5-8 menunjukkan tensile atau pemuluran. Karena proses bending ke arah luar tersebut bisa terjadi bila salah satu sisi mengalami *compress* dan sisi sebaliknya mengalami *tensile*. Fenomena ini juga sesuai dengan prediksi dan analisis dari metode *Finite Element*. Namun bila kita lihat, pada channel 5 terjadi keanehan, yaitu terjadi penyimpangan dari fenomena yang terjadi, dimana nilai yang ditunjukkan berada pada daerah negatif yang berarti batang mengalami *compress* padahal idealnya seharusnya mengalami *tensile*.



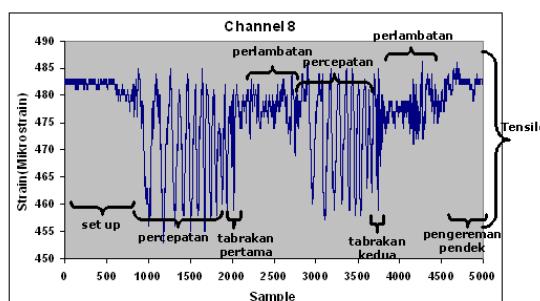
Gambar 12 Analisis Grafik Channel 5

Analisa menyatakan adanya kemungkinan hal tersebut terjadi karena polaritas yang terbalik pada pemasangan kabel dari strain gage ke channel data logger, sehingga data yang dihasilkan memiliki polaritas eksitasi yang tertukar antara tensile dan compress yaitu positif dengan negatif.

Selain perbedaan yang mencolok di atas, perbedaan lainnya menunjukkan titik-titik pada bagian dalam keempat batang ini tidak mengalami osilasi yang cepat antara compress dan tensile dan perubahan cenderung terjadi perlahan terutama pada channel 5-8 yang berarti getaran terjadi dengan frekuensi yang lebih rendah. Akan tetapi justru getaran seperti inilah yang harus diwaspadai karena akan dapat menyebabkan kegagalan secara lebih signifikan, sedangkan lonjakan tiba-tiba yang terlihat ketika sepeda menabrak tangkul sesungguhnya tidak dapat diperhitungkan sebagai tegangan maksimum karena waktunya yang sangat singkat atau frekuensinya sangat tinggi sehingga pada banyak pengujian dinamis efek impak seperti ini tidak diperhitungkan sebagai nilai yang dapat berpengaruh secara signifikan karena waktunya yang teramat singkat. Sedangkan getaran yang harus diwaspadai biasanya yang memiliki frekuensi di bawah 100 Hz, yang mana terjadi pada channel 5 dan channel 8, pada bagian ini kita harus mewaspadai fenomena yang terjadi yang kemungkinan menyebabkan kegagalan lebih signifikan.

Selain itu, keempat channel ini juga menunjukkan nilai strain yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan keempat channel sebelumnya, bahkan pada keempat channel ini nilai strain hampir selalu diatas  $500 \mu\epsilon$ . Hal ini mungkin disebabkan oleh desain sambungan yang pemasangannya memiliki kemiringan dan memungkinkan untuk terjadinya titik-titik kritis terutama pada channel 5 dan 8. Selain hal itubesarnya nilai yang terukur mungkin dipengaruhi pula oleh proses penempelan dan kondisi strain gage yang mungkin sudah terdeformasi mengingat lokasi yang sulit untuk dijangkau maka ketika proses pemasangan menggunakan alat bantu berupa karet penekan, sehingga sangat dimungkinkan terjadi deformasi pada strain gage.

Hal lainnya yang juga berbeda pada channel 5 – 8 ini yaitu proses pengereman yang dilakukan dengan jarak pengereman yang lebih pendek, dapat dilihat data yang dihasilkan tidak sepanjang data sebelumnya pada channel 1-4, dan akibat proses ini menghasilkan karakteristik yang dapat diamati pada grafik dimana tensile meningkat lebih tajam sebagai respon atas pengereman yang berarti engsel semakin ditekan dan batang semakin split.



Gambar 13 Analisis Grafik Channel 8

Dengan mengabaikan pelonjakan regangan yang terjadi sesaat, maka kita dapat menghitung besarnya Stress setiap channel untuk material batang pada rangka sepeda adalah ST 37 dengan modulus elastisitas E sebesar  $2,10 \times 10^5$  Mpa adalah sebagai berikut:

| Gage Length:    | 0,006              | m                   |                |                |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------|
| Gage Factor:    | 2,01               |                     |                |                |
| Modulus Elastic | $2,10 \times 10^5$ | Mpa                 |                |                |
|                 |                    |                     |                |                |
| No              | Channel            | $\epsilon$ (strain) | $\Delta l$ (m) | $\sigma$ (Mpa) |
| 1               | channel 1          | -2,86E-04           | -2E-06         | -60,06         |
| 2               | channel 2          | -1,92E-04           | -1E-06         | -40,32         |
| 3               | channel 3          | -2,30E-05           | -1E-07         | -4,83          |
| 4               | channel 4          | -4,70E-05           | -3E-07         | -9,87          |
| 5               | channel 5          | 8,59E-04            | 5,2E-06        | 180,39         |
| 6               | channel 6          | 1,31E-03            | 7,9E-06        | 275,1          |
| 7               | channel 7          | 6,05E-04            | 3,6E-06        | 127,05         |
| 8               | channel 8          | 4,78E-04            | 2,9E-06        | 100,38         |

Tabel 3 Besarnya Stress di setiap Channel

Dimana nilai negatif menunjukkan compressive stress dan nilai positif menunjukkan tensile stress. Sehingga batang terdeformasi ke arah luar akibat gaya tabrakan seolah-olah mengalami split, yang mana fenomena ini sesuai dengan estimasi sebelumnya menggunakan metode Finite Element.

## 7. Kesimpulan

1. Desain garpu belakang harus dilakukan perubahan desain karena mempunyai faktor keamanan yang kecil, yaitu 0.2866
2. Titik titik kritis dapat diketahui dengan melihat dimana stress yang paling besar dan untuk pemasangan strain gauge pada masing-masing batang dipilih bagian dari komponen yang deformasinya terbesar dan memungkinkan untuk dipasang.
3. Pada masing-masing batang yang dinilai sangat aman, dapat diganti materialnya dengan kekuatan di bawah steel dan lebih ringan sehingga desain lebih optimal.
4. Dengan menggunakan material penyusun ST 37 dengan Modulus Elastisitas sebesar  $2,10 \times 10^5$  Mpa maka didapatkan besarnya stress pada setiap batang dibawah stress dari material yang digunakan

## 8. Pengembangan Lanjut Penelitian

Pengembangan lanjut penelitian yang perlu dilakukan :

1. Hasil yang didapat dari Finite Element Method adalah tegangan multi aksial dalam bentuk *yield criteria von misses*. Untuk dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran, dibutuhkan pengukuran lebih lanjut untuk mendapatkan gaya biaksial atau triaksial

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

2. Proses membandingkan besarnya strain yang di dapat dengan hasil Finite Element Method sebaiknya dilakukan terlebih dahulu pada keadaan statis.
4. Untuk validasi Finite Element sebaiknya strain gage ditempelkan pada daerah yang mengalami tegangan homogen agar hasil lebih akurat.

## 8. Daftar Pustaka

1. Bernard J. Hamrock, Bo Jacobson, Steven R. Schmid, *Fundamentals of Machine Element* (Singapore: McGraw-Hill, 1999)
2. David E. Johnson, Johnny R. Johnson, John L. Hilburn, *Electric Circuit Analysis* (New Jersey: Prentice-Hall, 1992)
3. Timoshenko, S. *Strength of Material* (USA: Krieger, 1958)
4. Khurmi, R.S and Gupta, J.K, *Machine Design Third Edition* (New Delhi: Tata McGraw-Hill, 1991)
5. Degarmo, E.Paul, JT.Black, Ronald A.Kohser *Material and Process in Manufacturing*. Ninth Edition. John Wiley & Sons. Inc. 2003
6. Van Vlack, Lawrence.H dan Sriati Djaprie. *Ilmu Dan Teknologi Bahan*. Erlangga, Jakarta, 1995.
7. Desai, Chandrakant S. *Dasar-dasar metode elemen hingga*. (Jakarta: Erlangga, 1979).
8. Kuntjoro,Wahyu. *An introducing to the Finite Elemen Method*. (Singapore: Mcgraw-Hill, 2005).
9. Yusri. Tesis: *Penerapan Design For Assambly (DFA) pada Engsel dan Design For Manufakture and Assemby Sepeda Lipat (Folding Bike)*.
10. Zamri, Aidil. Tesis: *Penerapan Analytic Hierachy Process Pada Pemilihan Konsep desain Sepeda Lipat*
11. Chadri, Rivanol. Tesis: Analisa Dinamis Rangka Sepeda Lipat.