

## **DISTRIBUSI TEGANGAN PADA SAMBUNGAN PENGELASAN BUSHING DAN STERN TUBE DENGAN VARIASI BEVEL MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Monica Ritasari Cangkat<sup>1)</sup>, Nur Yanu Nugroho<sup>2)</sup>, Didik Hardianto<sup>3)</sup>**

<sup>1,2,3)</sup> Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Hang Tuah,  
Jl. Arif Rahman Hakim, No. 150, Surabaya  
[monica.rita@hangtuah.ac.id](mailto:monica.rita@hangtuah.ac.id)

**Abstrak:** *Bushing* merupakan satu kesatuan daripada sistem propulsi yang berhubungan dengan *stern tube* yang berfungsi sebagai pelindung poros *propeller* dari benturan-benturan benda keras. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pengelasan *bushing* dan *stern tube* terhadap distribusi tegangan yang terjadi pada struktur material dan struktur hasil pengelasan. Bentuk sambungan *bushing* dan *stern tube* divariasikan dengan tiga variasi *bevel* yakni *v-groove*, *bevel groove*, dan *square groove*. Hasil yang didapatkan melalui pemodelan menggunakan *autodesk inventor 2016* dengan metode elemen hingga. Didapatkan nilai maksimal tegangan terendah dan distribusi tegangan yang merata ialah *bevel v-groove* dengan bentuk mahkota las (*capping*) cekung dengan nilai tegangan maksimal 0,004251Mpa.

**Kata kunci:** baja grade A36, *buttering*, *buttering* berlapis, makro etsa, mikro etsa, pengelasan *hard facing*,

### **PENDAHULUAN**

*Propeller* merupakan salah satu alat penggerak kapal dimana terdapat *stern tube*. *Stern tube* memiliki peranan penting untuk melindungi poros *propeller* dari benturan benda keras. Beberapa komponen yang terdapat pada *stern tube* seperti *bushing*, poros, dan bantalan. Antara *bushing* dan *stern tube* dihubungkan dengan pengelasan. *Bushing* dan *stern tube* tidak ikut berputar tetapi mendapatkan efek getar dari perputaran poros *propeller*. Hal ini dapat menyebabkan aus pada sambungan pengelasan *bushing* dan *stern tube*. Pada penelitian kali ini akan lebih terfokus untuk meneliti distribusi tegangan di daerah sambungan pengelasan *bushing* dan *stern tube* dengan variasi kampuh (*bevel*), mahkota las (*capping*) dan jarak (*gap*) pengelasan. Tujuan dari penelitian ini adalah Untuk mengetahui pengaruh pengelasan *bushing* dan *stern tube* terhadap distribusi tegangan yang terjadi pada struktur material dan struktur hasil pengelasan.

Dalam proses pengelasan pelat dengan variasi *bevel*, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal. Sedangkan pada bagian yang tidak terkena proses pengelasan tidak berubah sehingga terbentuk penghalang pengembangan yang mengakibatkan terjadinya peregangan. Adanya distribusi tegangan dapat berpengaruh pada kekuatan lelah, retakan lelah dibagian struktur biasanya berawal dari ketidakaturan geometris dari struktur. Distribusi tegangan juga dapat timbul akibat kekerasan permukaan atau berasal dari pemertinggi tegangan struktur metalurgi, seperti : porositas, inklusi, pemanasan lebih lokal pada saat penggerindaan, dan dekabrasi (Djaprie, 1992).

Torsi (*torque*) adalah kemampuan mesin untuk menggerakkan/memindahkan benda dari kondisi diam sampai berjalan. Torsi berkaitan dengan akselerasi. Pada saat kita merasakan tubuh kita terhempas ke belakang saat berakselerasi, menunjukkan besarnya angka torsi pada mesin tersebut (Suryono, 2013).

Ketika torsi (T) dalam satuan pound-foot, kecepatan rotasi (N) dalam RPM dan daya diperlukan dalam tenaga kuda (Raffety. dkk, 2012):

$$T = (5252 \times p/hp) : N/RPM \quad (1)$$

Dimana :

T = torsi

5252 = merupakan konstanta antara RPM dan horsepower ialah 5252 RPM sama dengan 1 horsepower

p/hp = daya (*power*)

N/RPM = putaran mesin

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk mengatasi masalah nilai batas yang dikarakteristikan dengan persamaan diferensial parsial dan kondisi batas. Domain geometrik dari masalah nilai batas didiskritisasi menggunakan elemen subdomain, yang disebut sebagai elemen hingga, dan persamaan diferensial tersebut diterapkan terhadap elemen tunggal setelah diubah ke dalam bentuk integral-diferensial (Mulyadi, 2011).

Dalam metode elemen hingga membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*. Untuk persamaan matematik metode elemen hingga  $\{ P \} = [ k ] \cdot \{ q \}$ , dimana :  $[ k ] = [ f ]^{-1}$  (Setyono, 2016).

## METODE PENELITIAN

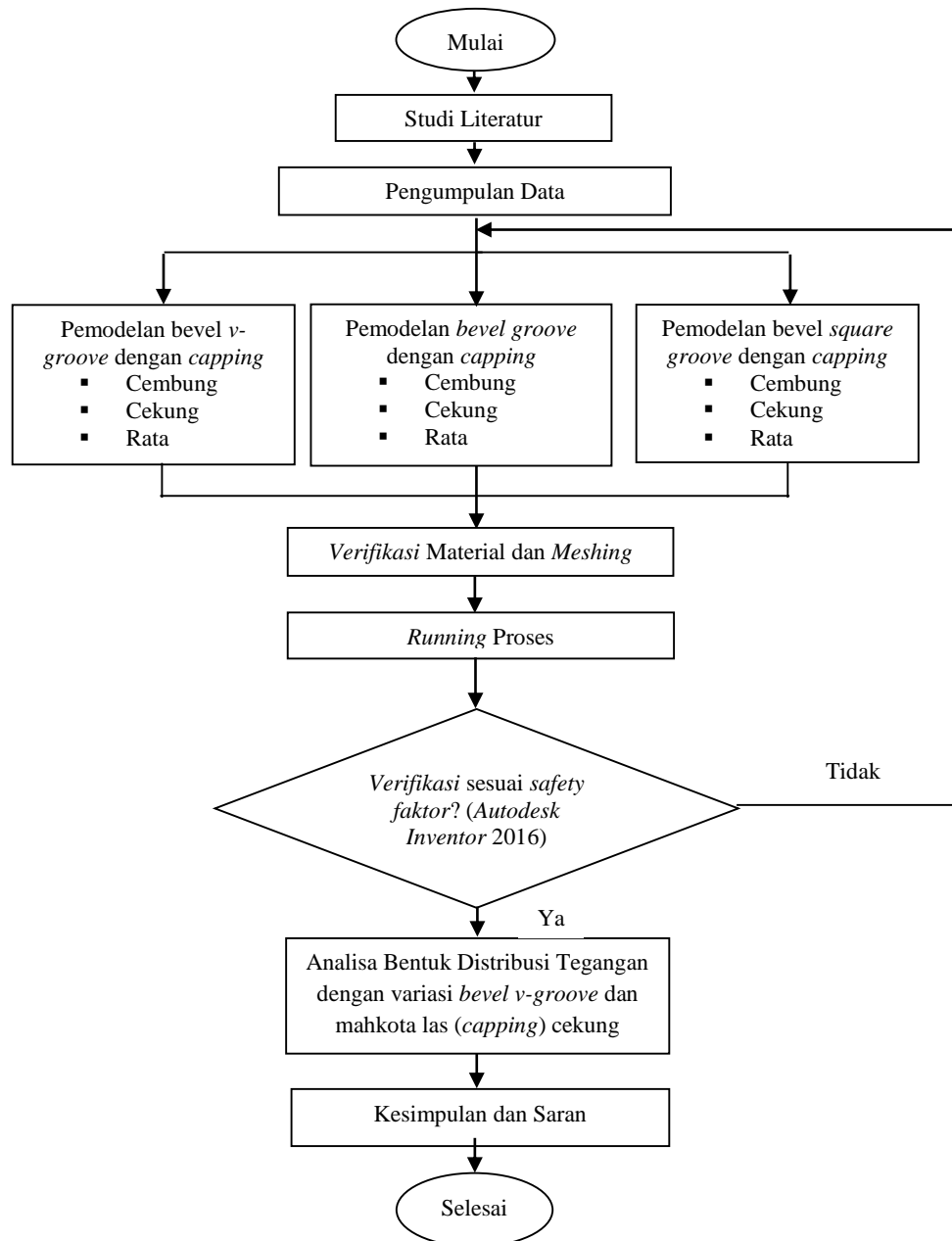
Proses simulasi analisis *bushing* dan *stern tube* menggunakan *software autodesk inventor* 2016. Pemodelan dibuat sesuai data penelitian, menginput material dan memverifikasi material *properties*. Penentuan *constrain* yang berupa *fixed*, beban yang digunakan ialah moment torsi sesuai perhitungan. Proses *meshing* dimana spesimen terbagi menjadi elemen-elemen yang berjumlah tertentu bahkan sampai tak terhingga. Hasil *running* diperoleh setelah proses *meshing* terjadi, saat proses *running* berjalan bersamaan dengan proses perhitungan dengan metode *Finite Element Analysis (FEM)*.

Pada proses *refinement meshing* adalah proses perubahan jumlah elemen dan nodes menjadi tegangan, dimana tegangan ditandai dengan warna. Daerah yang berwarna merah mengalami tegangan paling kritis. Proses yang terakhir yaitu *End simulation*, telah didapatkan hasil distribusi tegangan beserta nilai tegangan.

*Finite Elemen Analysis (FEM)* merupakan metode yang digunakan dalam proses simulasi menggunakan *software*. *FEM* terjadi dengan membagi-bagi objek struktur menjadi elemen-elemen yang berjumlah tak terhingga, dimana elemen-elemen tersebut dihubungkan oleh nodes dengan perhitungan khusus oleh *software* sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat. Untuk perhitungan khusus terdiri dari derajat kebebasan dan matriks kekakuan yang ditulis dengan persamaan 2:

$$\{ P \} = [ k ] \cdot \{ q \} \quad (2)$$

Dalam penelitian ini alur metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

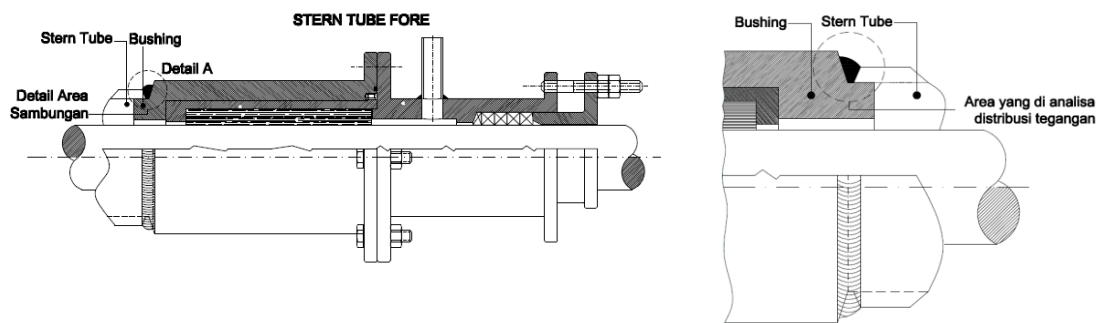


**Gambar 1.** Diagram Alir Metode Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari *shafting arrangement* dan detail *bushing* dan *stern tube*, *material properties* dan perhitungan torsi:



**Gambar 2.** Shafting Arrangement dan Bushing and Stern Tube drawing

- Material *properties* dan Torsi

Material yang digunakan untuk elektrode yaitu elektrode jenis E7018. Dan untuk jenis material yang digunakan pada *bushing* ialah ST 42 yang terdapat pada Tabel 4.1, sedangkan jenis material yang digunakan pada *stern tube* ialah ST 41 dapat dilihat pada Tabel 4.2. pada *autodesk inventor* 2016 material *properties* digunakan setelah pemodelan pada saat proses input data.

**Tabel 1.** Sifat mekanis material baja ST 42 untuk *bushing*

<i>Tensile Strenght</i> (Mpa)	<i>Yield Strenght</i> (Mpa)	<i>Poisson Ratio</i> (ul)	<i>Density</i> g/cm <sup>3</sup>	<i>Modulus Young</i> (Gpa)
420	350	0,29	7,85	200

(Sumber : *Autodesk Inventor* 2016)

**Tabel 2.** Sifat mekanis material baja ST 41 untuk *stern tube*

<i>Tensile Strenght</i> (Mpa)	<i>Yield Strenght</i> (Mpa)	<i>Poisson Ratio</i> (ul)	<i>Density</i> g/cm <sup>3</sup>	<i>Modulus Young</i> (Gpa)
415	250	0,3	7,73	205

(Sumber : *Autodesk Inventor* 2016)

**Tabel 3.** Sifat mekanis elektrode E7018

<i>Tensile Strenght</i> (Mpa)	<i>Yield Strenght</i> (Mpa)	<i>Poisson Ratio</i> (ul)	<i>Density</i> g/cm <sup>3</sup>	<i>Modulus Young</i> (Gpa)
345	207	0,275	7,85	220

(Sumber : *Autodesk Inventor* 2016)

Data lainnya yang diperlukan pada penelitian ini adalah moment torsi pada persamaan-1 ,  
 P = Daya mesin: 195 Hp / 143 Kw dan N = Putaran *propeller* : 1643, maka:

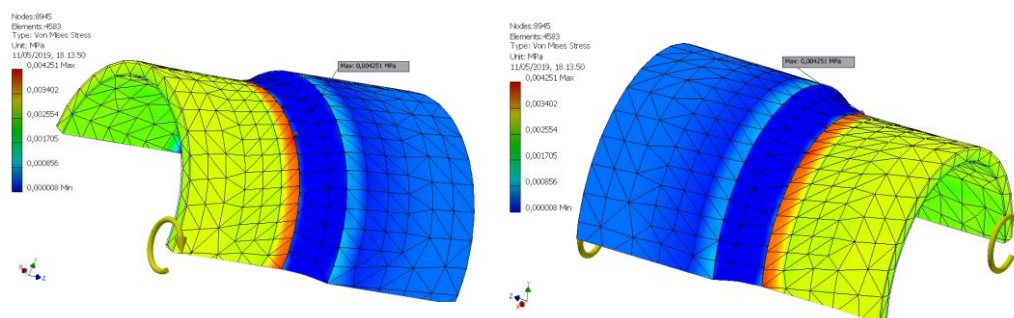
$$\begin{aligned}
 T &= (5252 \times P) : N \\
 &= (5252 \times 195) : 1643 \\
 &= 623,3 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

### Analisa Pemodelan

Dalam pembuatan model dengan variasi *bevel* dapat diklasifikasikan dengan bentuk kampuh las. Macam-macam variasi *bevel* yakni *v-groove*, *bevel groove*, dan *square groove* dapat divariasikan lagi untuk mahkota las (*capping*) yaitu cembung, cekung dan rata.

1. *V-groove* : a. Dengan pengelasan cembung (*convex capping*)  
b. Dengan pengelasan cekung (*concave capping*)  
c. Dengan pengelasan rata
2. *Bevel groove* : d. Dengan pengelasan cembung (*convex capping*)  
e. Dengan pengelasan cekung (*concave capping*)  
f. Dengan pengelasan rata
3. *Square groove* : g. Dengan pengelasan cembung (*convex capping*)  
h. Dengan pengelasan cekung (*concave capping*)  
i. Dengan pengelasan rata

Dari variasi *bevel* dan variasi *capping* dipilih hasil yang terbaik untuk distribusi tegangan yang merata dan nilai maksimal tegangan terendah. Pada hasil simulasi *autodesk inventor* 2016 didapatkan hasil yang terbaik ialah *bevel v-groove* dengan *capping* cekung. Dari hasil *running v-groove* dengan *capping* cekung menunjukkan distribusi tegangan yang terdapat pada spesimen yang ditunjukkan oleh nilai tegangan dengan warna. Dimana pada gambar yang berwarna merah menunjukkan tegangan paling tinggi karena adanya pemusatan tegangan (*stress konsentrasi faktor*) yang mana akan mengalami awal terjadinya keretakan yang ditunjukkan dengan nilai  $4,251 \times 10^{-3}$  Mpa. Bentuk *capping* memiliki pengaruh pada luasan tegangan, dimana semakin luas tegangan yang didistribusikan tidak harus memiliki nilai maksimal yang tinggi. Dapat dilihat pada Gambar 4.6 *stress konsentrasi faktor* meluas sehingga mendapatkan hasil distribusi tegangan yang merata, akan lebih tahan lama walaupun nilai maksimal tegangan terkecil. Untuk warna kuning ditunjukkan dengan nilai  $3,402 \times 10^{-3}$  Mpa. Untuk yang warna hijau dengan nilai  $1,705 \times 10^{-3}$  Mpa dapat dikatakan aman. Pada nilai  $8,56 \times 10^{-4}$  Mpa ditunjukkan dengan warna cyan dan biru dengan nilai  $8 \times 10^{-6}$  Mpa sangat aman sekali.



**Gambar 3.** Hasil Distribusi Tegangan *V-groove* Cekung

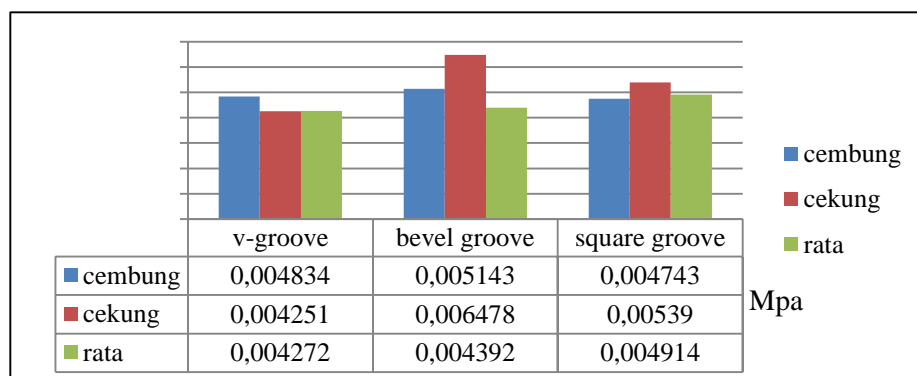
### Analisa hasil

Dari pengumpulan data akan dianalisa kampuh las (*bevel*) dengan bentuk mahkota las (*capping*) yang paling baik. Dapat dilihat pada Tabel 4.4 hasil distribusi tegangan beserta nilai tegangan maksimal.

**Tabel 4.** Rekapitulasi simulasi hasil distribusi tegangan *v-groove*

Hasil simulasi		<i>V-groove</i>		
		Cembung	Cekung	Rata
<i>Von mises stress</i>	<i>Maximum</i>	$4,833 \times 10^{-3}$ Mpa	$4,251 \times 10^{-3}$ Mpa	$4,271 \times 10^{-3}$ Mpa
	<i>Minimum</i>	$1,114 \times 10^{-5}$ Mpa	$7,865 \times 10^{-5}$ Mpa	$8,839 \times 10^{-5}$ Mpa
<i>Mass</i>	<i>Maximum</i>	19,163 kg	18,494 kg	18,757 kg
	<i>Minimum</i>	19,163 kg	18,494 kg	18,757 kg
<i>Displacement</i>	<i>Maximum</i>	$2,341 \times 10^{-6}$ mm	$2,140 \times 10^{-6}$ mm	$2,141 \times 10^{-6}$ mm
	<i>Minimum</i>	0 mm	0 mm	0 mm
<i>Safety faktor</i>	<i>Maximum</i>	15 ul	15 ul	15 ul
	<i>Minimum</i>	15 ul	15 ul	15 ul
<i>Equivalent strain</i>	<i>Maximum</i>	$1,868 \times 10^{-8}$	$1,797 \times 10^{-8}$	$1,806 \times 10^{-8}$
	<i>Minimum</i>	$4,803 \times 10^{-11}$	$3,328 \times 10^{-11}$	$3,804 \times 10^{-11}$

Dari pemodelan yang telah dilakukan didapatkan hasil distribusi tegangan untuk variasi *bevel v-groove* yang didasarkan oleh metode *von mises stress*. Dimana dapat dilihat pada Tabel 4 yang memperlihatkan nilai maksimal dan minimal dari tegangan *von mises*, *meshing*, *displacement*, *safety faktor*, dan *equivalent strain* yang mana hasil dari pemodelan dengan *v-groove* variasi mahkota las (*capping*) memenuhi *safety faktor*.

**Gambar 4.** Grafik Distribusi Tegangan

Dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4 hasil distribusi tegangan dan nilai tegangan maksimal dari *bevel v-groove* dan variasi bentuk mahkota las (*capping*). Dimana pada tiap kampuh las (*bevel*) terdapat warna yang menunjukkan bentuk mahkota las beserta nilai tegangan maksimal dari hasil distribusi tegangan. Pada warna biru menunjukkan bentuk mahkota las cembung, pada warna merah menunjukkan bentuk mahkota las cekung, dan yang warna hijau menunjukkan bentuk mahkota las rata. Distribusi tegangan yang merata dengan nilai tegangan maksimal terendah ialah dengan *bevel v-groove* dan *capping* cekung dengan nilai maksimal  $4,251 \times 10^{-3}$ . Pada *v-groove* dengan *capping* cekung ini memiliki luasan tegangan yang luas dan nilai tegangan maksimal yang tidak besar, karena semakin luas tegangan yang didistribusikan tidak harus memiliki nilai tegangan maksimal yang tinggi. Pada dasarnya prinsip tegangan ialah penyebaran tegangan yang merata tidak melihat seberapa besar atau kecil nilai tegangan yang dihasilkan, karena yang mempengaruhi ialah struktur tegangan bukan nilai dari hasil tegangan. Luasan tegangan dipegaruhi oleh bentuk mahkota las (*capping*) dan distribusi tegangan atau daerah yang mengalami perubahan struktur dan warna yaitu pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*).

## **KESIMPULAN**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi *bevel* dan variasi bentuk mahkota las (*capping*) didapatkan hasil analisa distribusi tegangan yang paling merata dengan nilai tegangan maksimal terendah  $4,251 \times 10^{-3}$  Mpa (0,004251) Mpa ialah pada *bevel v-groove* dengan bentuk mahkota las (*capping*) **cekung**. Pada masa mendatang perlu dilakukan penelitian lanjutan dari segi kekuatan variasi *bevel v-groove* dengan *capping* cekung.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Djaprie, S. 1992. "Metalurgi Mekanik". Jakarta: Erlangga.
- Mulyadi, Santoso. 2011. "Analisa Tegangan-Regangan Produk Tongkat Lansia dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga". 4 (1) : 51 - 58.
- Raffety, John P. McKenna, Amy. Rogers, Kara. Wallenfeldt, Jeff. Eldridge, Alison. 2012. "Horsepower". <https://en.wikipedia.org/wiki/Horsepower> (online), (diakses pada tanggal 17 Juni 2019).
- Setyono, Bambang. 2016. "Perancangan dan Analisa Kekuatan Frame Sepeda Hibrid Trisona Menggunakan Software Autodesk Inventor". 20 (2) : 37 – 46.
- Suryono, Heri. 2013. "Torque vs Horsepower (HP)". [coalminingindonesia.blogspot.com/2013/04/torque-vs-horsepower-hp.html](http://coalminingindonesia.blogspot.com/2013/04/torque-vs-horsepower-hp.html) (online), (diakses pada tanggal 17 Juni 2019).