

Perkiraan Kekuatan Struktur Mekanik *Side Scraper* dengan Metode Elemen Hingga Beserta Rekomendasi Material Pengganti Elemen Kritis

Rolan Siregar^{a,b,*}, Mulyadi Bur^b, Syamsul Huda^b

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada
Alamat: Taman Malaka Selatan, Duren Sawit, Jakarta Timur, 13450

^bDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
Alamat: Jl. Universitas Andalas, Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25163

*E-mail: rolanregar@gmail.com

Abstract

One type of dredging material from the pile to the conveyor belt in a mining industry is a side scraper. Some elements of the side scraper have a short life time (critical element) due to the limited strength of the structure in holding static or kinetic loads, where the biggest load is the mass of the scraper arm which reaches 14,8 tons and the arm length reaches 21,7 m. The material elements that failure is an arm brace, pylon, and the scraper arm. Therefore, in this study, the strength calculation of the mechanical structure of the side scraper and the recommendation of replacement material for the failed elements. The research method was carried out by stress simulation based on the finite element method. The results of this study are the stresses that occur in each of the main elements along with material recommendations. The material used consists of two types, namely AISI Steel 1040, AISI Steel 1340. The use of non-uniform material types is intended to optimize the economical price of mechanical side scraper structures. The final of this study is expected to be useful for maintenance of side scraper equipment.

Keywords: material of failure; structural strength; side scraper

Abstrak

Salah satu jenis alat pengeruk tumpukan material ke *belt conveyor* dalam suatu industri pertambangan adalah *side scraper*. Beberapa elemen penyusun alat berat tersebut memiliki *life time* yang relatif singkat (elemen kritis) karena keterbatasan kekuatan struktur pendukung dalam menahan beban statis maupun kinetis, di mana beban terbesar adalah massa lengan scraper yang mencapai 14,8 ton serta panjang lengan mencapai 21,7 m. Adapun elemen yang mengalami kegagalan material adalah struktur brace, pylon, dan bagian tengah lengan scraper. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan perhitungan kekuatan struktur mekanik side scraper dan rekomendasi material pengganti elemen yang gagal (failure). Adapun metode penelitian ini dilakukan dengan simulasi tegangan berbasis metode elemen hingga. Dalam analisis statik diperoleh rekomendasi material berdasarkan perhitungan tegangan pada struktur mekanik tersebut. Adapun material yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu AISI Steel 1040, AISI Steel 1340. Penggunaan jenis material yang tidak seragam dimaksudkan untuk mengoptimalkan harga ekonomis material penyusun struktur mekanik tersebut. Akhir dalam penelitian ini diharapkan dapat berguna untuk *maintenance* peralatan *side scraper*.

Kata kunci: kegagalan material, kekuatan struktur, *side scraper*

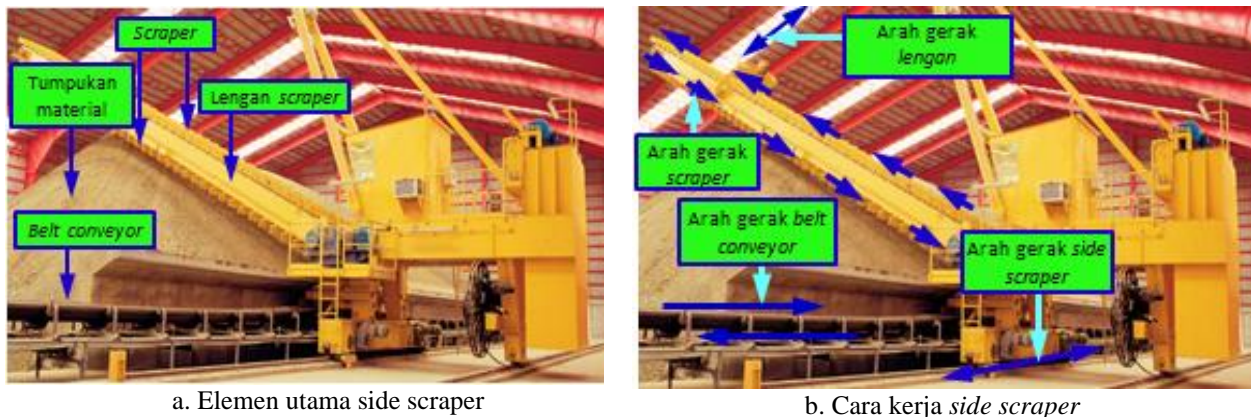
1. Pendahuluan

Side scraper merupakan alat pemindah material dari tumpukan (*storage*) ke alat transportasi seperti belt conveyor dengan cara memanfaatkan gerakan scraper yang berada pada lengan untuk mengeruk material dari sisi tumpukan material tersebut. Pada industri semen, alat ini ditempatkan pada *Lime Stone Storage* yaitu tempat penampungan sementara bahan baku sebelum dibawa ke *Raw Mill*. Secara garis besar elemen penyusun side scraper terdiri dari tujuh bagian utama yaitu struktur mekanik (pendukung), scraper, hoist, motor, roda, rel, dan sistem elektronik. Prinsip kerja side scraper yaitu dengan cara memanfaatkan gerakan scraper atau blade yang terletak pada lengan yang relative panjang untuk mengeruk sisi tumpukan material dengan jumlah yang diinginkan ke belt conveyor yang juga terletak di sepanjang tumpukan material tersebut. Secara umum gambaran elemen utama dalam proses pemindahan material dapat ditampilkan pada Gambar 1.

Beberapa elemen penyusun alat berat tersebut memiliki *life time* yang relatif singkat (elemen kritis) karena keterbatasan kekuatan struktur pendukung dalam menahan beban statis maupun kinetis, di mana beban terbesar adalah massa lengan scraper yang mencapai 14,8 ton serta panjang lengan mencapai 21,7 m. Adapun elemen yang mengalami kegagalan material adalah struktur pendukung yaitu brace, pylon, dan bagian tengah lengan scraper. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan perhitungan kekuatan struktur mekanik side scraper dan rekomendasi

material pengganti elemen yang gagal (*failure*). Perhitungan kekuatan stuktur diawali dari pendefinisian pembebanan dan selanjutnya perhitungan tegangan [1]. Untuk perhitungan gaya pada setiap batang dapat didekati dengan persamaan kesetimbangan statik benda tegar [2] yaitu $\Sigma F = 0$ dan $\Sigma M = 0$. Gaya yang dihasilkan dalam perhitungan tersebut merupakan input beban dalam simulasi tegangan berbasis metode elemen hingga[3][4].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sutowo dkk [5], material dapat dikategorikan gagal apabila beban lebih (*over load*) terjadi sampai melebihi batas luluh material tersebut. Material getas akan memberikan peluang terjadinya retak(*crack*) dan dengan adanya porositas, inklusi, dan retakan mikro dapat menimbulkan pejalaran retak selama komponen dilakukan pengerjaan machining[6]. Selanjutnya temperatur dan korosi yang terjadi pada suatu elemen mesin dapat mempengaruhi kegagalan material dalam menahan suatu beban[7]. Dalam kajian ini, pemilihan material pengganti elemen kritis hanya berdasarkan kemampuan material dalam menahan gaya maksimum.



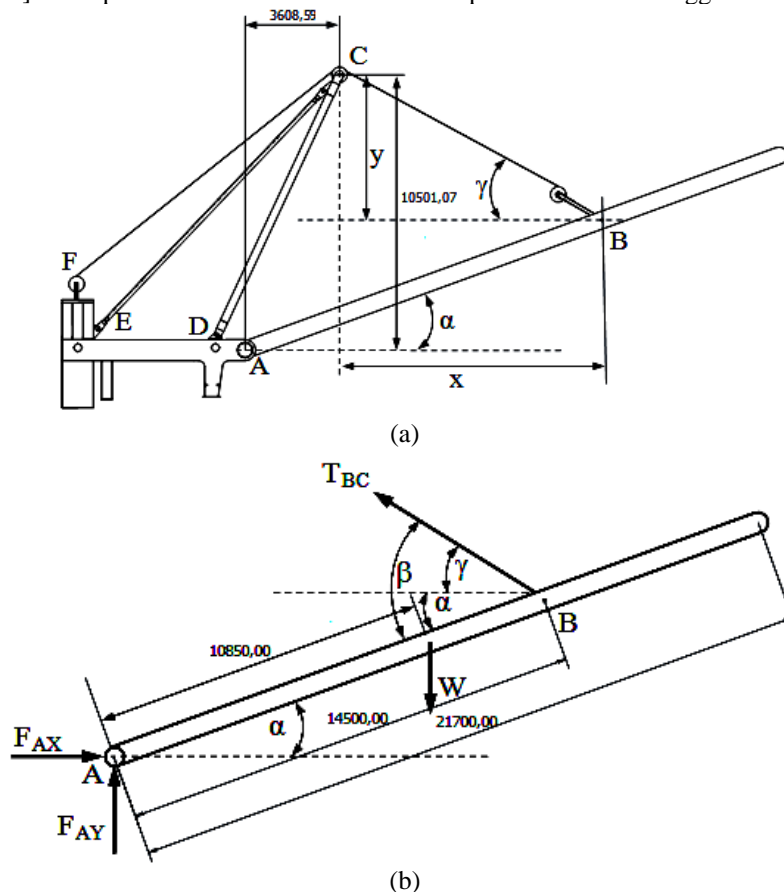
a. Elemen utama side scrapper

b. Cara kerja side scrapper

Gambar 1. (a,b) Pengenalan side scrapper [8]

2. Material dan metode penelitian

Langkah awal dalam melaksanakan penelitian ini adalah melakukan studi literatur mengenai *side scrapper* berupa prinsip kerja, komponen-komponen utama, pemodelan beban statis [9], simulasi tegangan[10][11], dan pemilihan material [12]. Pada penelitian ini analisis seluruh komponen mekanik menggunakan analisis statik.



(a)

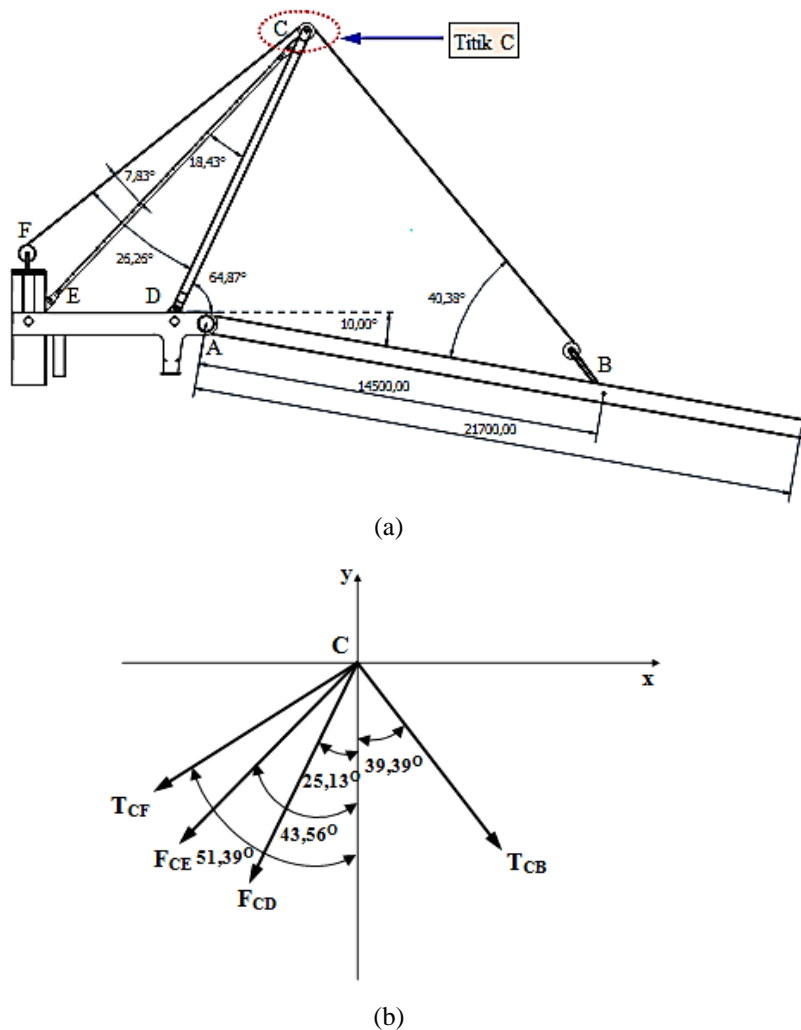
(b)

Gambar 2. Side scrapper bekerja pada sudut α (a), Diagram benda bebas pada lengan scrapper (b)

Untuk memudahkan penghitungan gaya pada struktur mekanik tersebut dapat dilakukan dengan membuat penyederhanaan sistem yaitu dengan pemodelan *side scraper* dalam bentuk dua dimensi. Setelah gaya pada struktur diketahui maka selanjutnya adalah simulasi tegangan dengan metode elemen hingga. Awal penghitungan dilakukan dengan mencari besar gaya yang bekerja pada *wire steel* akibat berat komponen *scraper* dimana besar gaya pada *wire steel* tergantung pada besar sudut legan *scraper* (α) terhadap sumbu x. Gaya pada *wire steel* dapat diketahui dengan membuat diagram benda bebas pada lengan *scraper* seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Dengan menentukan sigma momen di titik A sama dengan nol maka diperoleh persamaan T_{BC} seperti pada Persamaan 1.

$$T_{BC} = \frac{W \cdot 10,85 \text{ m} \times \cos \alpha}{14,50 \text{ m} \times \sin \beta} \tag{1}$$

Berikut ini penjelasan mengenai perhitungan gaya pada struktur pendukung (*pylon* dan *brace*). Perhitungan gaya pada struktur pendukung diawali dengan perhitungan gaya dalam kondisi ideal. Pengertian kondisi ideal adalah *side scraper* tidak sedang melakukan pemindahan material dan lengan *scraper* berada pada posisi paling minimum dari sumbu *horizontal* yaitu membentuk sudut sekitar -10° . Perhitungan dapat dilakukan dengan meninjau diagram benda bebas di titik C seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Posisi titik C (a), pemodelan diagram benda bebas di titik C (b)

Berdasarkan DBB di titik C maka gaya pada batang *pylon* (F_{CD}) dan *brace* (F_{CE}) dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2 dan 3, diketahui nilai T_{CF} sama dengan nilai T_{CB} .

$$-F_{CD} \times \sin 25,13^\circ - F_{CE} \times \sin 43,56^\circ - T_{CF} \times \sin 51,39^\circ + T_{CB} \times \sin 39,39^\circ = 0 \tag{2}$$

$$-F_{CD} \times \cos 25,13^\circ - F_{CE} \times \cos 43,56^\circ - T_{CF} \times \cos 43,56^\circ - T_{CB} \times \cos 39,39^\circ = 0 \tag{3}$$

Dari persamaan 2 dan 3 akan diperoleh nilai F_{CD} dan F_{CE} dengan cara eliminasi maupun substitusi. Setelah diperoleh gaya pada struktur pendukung pada kondisi ideal (-10°) maka pada kondisi sudut lengan lainnya (-5° s.d. 55°) dapat ditentukan dengan cara yang sama dengan kondisi ideal (-10°).

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Gaya yang Bekerja pada Struktur Pendukung (*Pylon* dan *Brace*)

Hasil perhitungan tersebut pada saat kondisi ideal menunjukkan bahwa gaya pada *pylon* adalah -454363 N dan pada *brace* 244273 N. Angka minus gaya pada *pylon* menunjukkan bahwa batang tersebut adalah batang yang mengalami beban tekan. Gaya yang bekerja pada struktur pendukung dengan sudut lengan lainnya seperti pada sudut -5° s.d 55° dengan interval 5° diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Gaya pada struktur pendukung terhadap variasi sudut lengan scraper

Sudut lengan (α°)	Sudut γ ($^{\circ}$)	Sudut β ($^{\circ}$)	Wire Steel T_{BC} (N)	<i>Pylon</i> Tekan F_{CD} (N)	<i>Brace</i> Tarik F_{CE} (N)
-10	50.61	40.61	167831	454363	244273
-5	47.30	42.30	164191	447311	251081
0	43.91	43.91	159970	436862	255083
5	40.40	45.40	155219	423131	256298
10	36.75	46.75	149990	406231	254675
15	32.94	47.94	144339	386303	250184
20	28.90	48.90	138327	363442	242857
25	24.59	49.59	132032	337795	232671
30	19.92	49.92	125558	309449	219618
35	14.75	49.75	119052	278380	203608
40	8.90	48.90	112751	244474	184429
45	2.09	47.09	107065	207314	161582
50	-6.09	43.90	102801	165907	133960
55	-16.32	38.67	101779	117337	98575

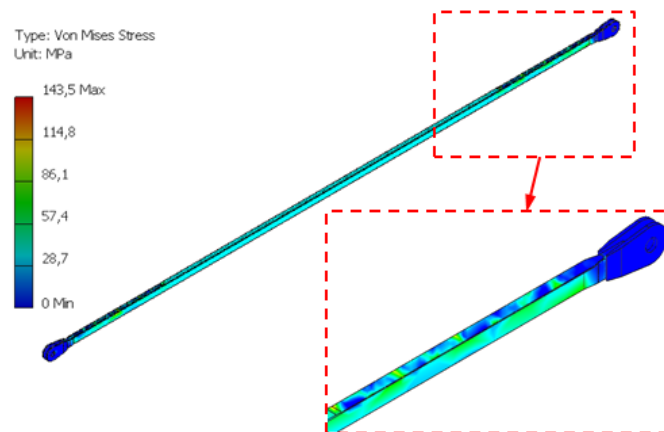
Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa gaya maksimum yang dialami struktur *pylon* terjadi pada saat sudut lengan *scraper* -10° yaitu 454363 N sedangkan *brace* berada pada sudut 5° yaitu 256298 N. Gaya maksimum ini merupakan acuan untuk analisis tegangan pada struktur tersebut.

3.2. Hasil Rekomendasi Material Penyusun Struktur Mekanik berdasarkan Analisis Tegangan

Gaya yang bekerja pada struktur mekanik adalah input beban untuk analisis tegangan. Adapun tegangan diperoleh dengan simulasi tegangan menggunakan software Autodesk Inventor Student Version berbasis *Finite Element Analysis* (FEA). Berikut hasil analisis tegangan pada masing-masing struktur mekanik.

1. Kontur Tegangan pada *Brace*

Kontur tegangan pada struktur mekanik *brace* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kontur tegangan pada *brace*

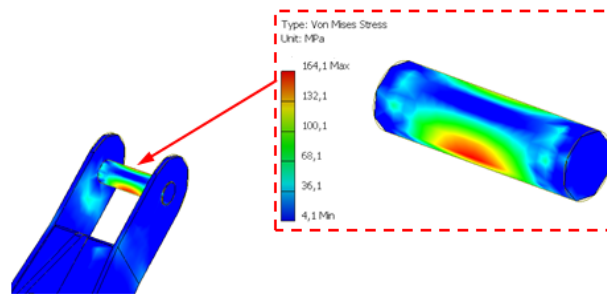
Adapun tegangan maksimum Von Mises yang diperoleh adalah 143,5 MPa.

2. Kontur Tegangan pada *Pylon*

Tegangan pada *Pylon* difokuskan pada 2 bagian utama untuk optimalisasi material penyusun, yaitu:

a. Poros katrol

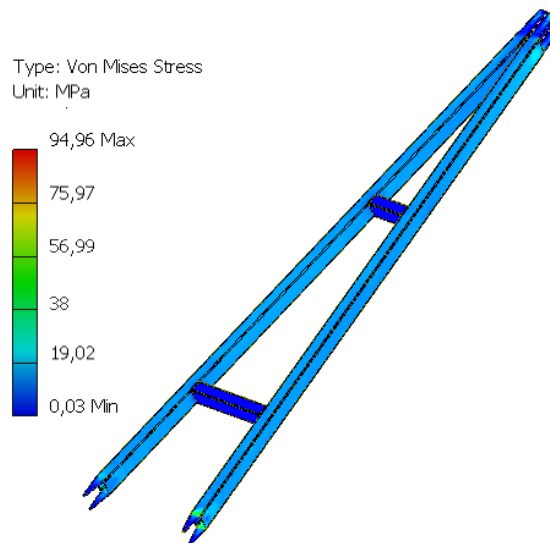
Pada Gambar 5 diperoleh tegangan Von Mises maksimum pada poros katrol sebesar 164,1 MPa.



Gambar 5. Kontur tegangan pada poros katrol

b. Batang utama

Pada Gambar 6 ditunjukkan tegangan Von Mises maksimum 94,96 MPa.

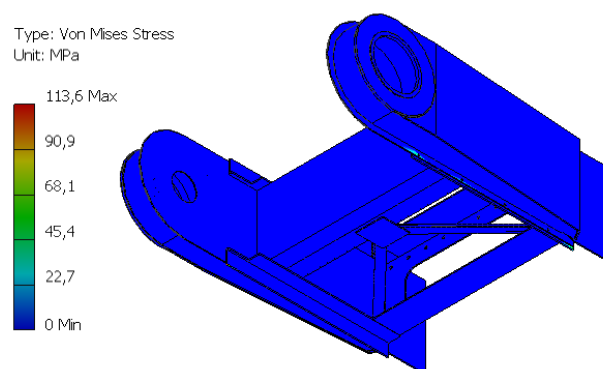


Gambar 6. Kontur tegangan pada batang utama *pylon*

3. Kontur Tegangan pada Lengan *Scraper*

Elemen penyusun lengan scraper dibagi menjadi dua yaitu end piece dan main piece.

a. *End Piece*

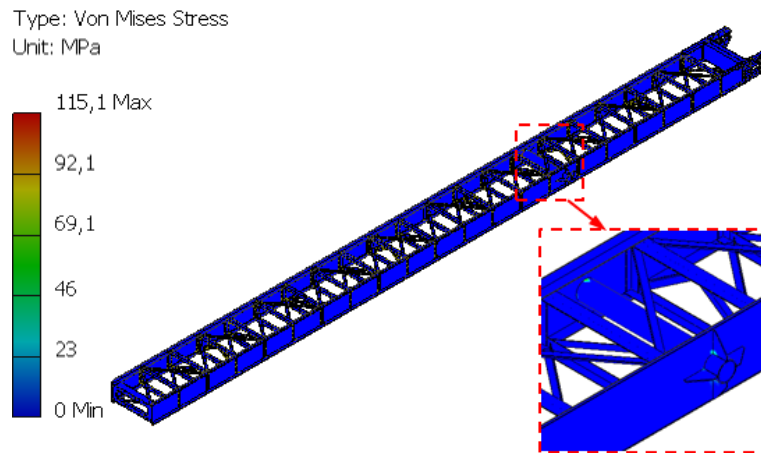


Gambar 7. Kontur tegangan pada *end piece*

Pada Gambar 7 ditunjukkan tegangan Von Mises maksimum pada *end piece* sebesar 113,6 MPa.

b. *Main piece*

Pada Gambar 8 ditunjukkan tegangan Von Mises maksimum pada main piece adalah 115,1 MPa.



Gambar 8. Kontur tegangan pada *main piece*

Tabel 2. Data hasil rekomendasi material penyusun pada struktur mekanik *side scraper*

No	Nama Komponen	Tegangan maks (MPa)	Rekomendasi material	Safety factor (Sf)	Yield point strength (psi/MPa)	Keterangan [13]
1	<i>Brace</i> (batang CE)	143,50	AISI Steel 1340	9,9	206000/1420,31	Hal. 22 Tabel 1-12 [13]
2	<i>Pylon</i> (batang CD)					
	Batang utama (seluruh batang yang memiliki bentuk profil persegi (<i>hollow</i>)).	94,96	AISI Steel 1040	7,5	104000/717,06	Hal. 22 Tabel 1-12 [13]
	Poros katrol	164,10	AISI Steel 1340	8,6	206000/1420,31	Hal. 22 Tabel 1-12 [13]
3	Lengan <i>Side scraper</i>					
	Komponen <i>end piece</i> (pangkal lengan)	113,60	AISI Steel 1340	12,5	206000/1420,31	Hal. 22 tabel 1-12 [13]
	Main piece (bagian utama)	115,10	AISI Steel 1340	12,3	206000/1420,31	Hal. 22 Tabel 1-12 [13]

Berdasarkan analisis tegangan yang dilakukan maka dapat direkomendasikan material penyusun struktur mekanik tersebut, seperti yang ditampilkan pada Tabel 2. Pemilihan jenis material pada struktur mekanik dilakukan berdasarkan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur mekanik tersebut di mana faktor keamanan (Sf) yang dipilih adalah lebih besar atau sama dengan lima. Penggunaan jenis material pada automobiles dijelaskan pada katalog 'Parker, Earl R. 1967, "*Materials Data Book*" yang dimuat pada Tabel 1.19 hal. 29'. Material yang direkomendasikan adalah AISI Steel 1340 dan 1040 yang biasa digunakan untuk lengan, axcel, dan lain sebagainya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat dibuat beberapa kesimpulan yaitu gaya maksimum yang bekerja pada struktur mekanik *side scraper* adalah acuan untuk analisis tegangan. Dalam analisis statik diperoleh rekomendasi material berdasarkan perhitungan tegangan pada struktur mekanik tersebut. Adapun material yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu AISI Steel 1040, AISI Steel 1340 dengan faktor keamanan (SF) pada seluruh struktur mekanik lebih besar dari lima. Penggunaan jenis material yang tidak seragam dimaksudkan untuk mengoptimalkan harga ekonomis material penyusun struktur mekanik tersebut, karena jika dipilih hanya satu material yang memiliki kekuatan luluh paling tinggi maka hal ini memungkinkan harga material pada seluruh struktur tersebut menjadi lebih mahal.

Daftar Pustaka

- [1] F. Ding, "Structure Strength Analysis of Light Truck Cab Based on Tilting Mechanism," *Appl. Mech. Mater.*, Vol. 633–634, Pp. 1237–1240, 2014.
- [2] F. P. Beer, E. R. Johnston, D. F. Mazurek, P. J. Cornwell, And E. R. Eisenberg, *Vector Mechanics for Engineers - Statics And Dynamics 9th Edition*. 2010.
- [3] Q. Tian, "Application Of Nastran Finite Element Analysis and Experimental Test on Loading Machine Structure Strength Analysis," *Appl. Mech. Mater.*, Vol. 155–156, Pp. 1080–1085, 2012.
- [4] O. Zienkiewicz, R. Taylor, And J. Z. Zhu, "The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals: Seventh Edition," *Finite Elem. Method Its Basis Fundam. Seventh Ed.*, Pp. 1–714, 2013.
- [5] C. Sutowo, I. Kartika, And B. Priyono, "Analisa Kegagalan Komponen Front Axle pada Kendaraan Bermotor Roda Empat," *Semin. Nas. Sains Dan Teknol.*, No. November 2016, Pp. 1–8, 1846.
- [6] C. Sutowo, G. Senopati, I. Kartika, And B. Priyono, "Analisa Kegagalan Retak Material Besi Cor Kelabu," No. November, Pp. 50–57, 2016.
- [7] M. D. A. N. Kekerasan, "Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian : Mikrografi Dan Kekerasan," *J. Tek. Mesin*, Vol. 1, No. 4, Pp. 33–39, 2013.
- [8] Flsmidth, "Parts List Side Scraper Ssh-Mb-226/23," Denmark, 1996.
- [9] F. Zainuri, D. A. Sumarsono, M. Adhitya, and R. Siregar, "Design of Synchromesh Mechanism to Optimization Manual Transmission's Electric Vehicle," In *Aip Conference Proceedings*, 2017.
- [10] J. E. Akin, "Finite Element Analysis Concepts: Via Solidworks," *Finite Elem. Anal. Concepts Via Solidworks*, Pp. 1–335, 2010.
- [11] P. J. Baikerikar And C. J. Turner, "Comparison of As-Built Fea Simulations and Experimental Results for Additively Manufactured Dogbone Geometries," *Proc. Asme Des. Eng. Tech. Conf.*, Vol. 1, 2017.
- [12] D. A. N. Elektromagnet And E. Mekanika, "Diktat Pemilihan Bahan dan Proses I Logam dan Material , Fenomena Listrik Teknik Mesin Universitas Udayana," pp. 1–205, 2017.
- [13] E. R. Parker, *Materials Data Book*. Barkely, 1967.