

MODIFIKASI ALAT BANTU ANGKUT BELERANG UNTUK MENGURANGI
INJURY

MODIFICATION OF SULFUR CONVEYANCE TOOL TO REDUCE INJURY

Brian Daris Firnanda¹⁾, Sugiono²⁾, Ceria Farel Mada Tantrika³⁾

Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya

Jl. Mayjen Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: briandarisf@gmail.com¹⁾, sugiono_ub@ub.ac.id²⁾, ceria_fmt@ub.ac.id³⁾

Abstrak

Aktivitas pengangkutan belerang yang ada di kawasan Kawah Gunung Ijen masih dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan alat bantu berupa pikulan. Proses pengangkutan material menggunakan alat pikul tersebut termasuk dalam metode Yoke. Metode Yoke adalah metode pengangkutan yang menempatkan tumpuan beban pada salah satu bahu. Resiko yang muncul pada penambang belerang ini adalah bagian bahu yang menjadi menebal dan rasa sakit yang terjadi di bagian kaki, lutut dan pinggang. Adanya resiko menimbulkan perubahan kondisi tubuh dan cedera ini perlu metode pengangkutan dan alat angkut yang dapat mengurangi injury. Hasil penelitian setelah melakukan uji coba prototype menunjukkan bahwa alat angkut perbaikan menggunakan metode pengangkutan rucksack. Metode rucksack adalah metode pengangkutan yang menempatkan tumpuan beban pada kedua bahu. Dari hasil analisa terhadap keluhan kerja menggunakan kuesioner Nordic Body Map terjadi penurunan nilai rata-rata dari 2,54 menjadi 2,2. Rata-rata denyut jantung mengalami penurunan dari 125,8 denyut per menit menjadi 107,7 denyut per menit. Berdasarkan perhitungan rata-rata pengeluaran energi mengalami penurunan dari 7,050 Kkal per menit menjadi 6,245 Kkal per menit. Perhitungan waktu istirahat istirahat didapatkan penurunan 163,5 menit menjadi 109,8 menit.

Kata kunci: Alat Angkut, Injury, Nordic Body Map, Pengukuran Denyut Jantung, Pengeluaran Energi, Waktu Istirahat

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara yang memiliki kekayaan akan hasil sumber daya alam, mulai dari sektor pertanian, perkebunan, perikanan hingga pertambangan yang menjadikan Indonesia sebagai salah satu pemasok utama di dunia. Salah satu hasil sumber daya alam terbesar yang dimiliki oleh Indonesia adalah belerang yang berada di kawasan Kawah Gunung Ijen. Kawasan Kawah Gunung Ijen yang terletak di wilayah Kecamatan Licin, Kabupaten Banyuwangi dan Kecamatan Klobang, Kabupaten Bondowoso, Provinsi Jawa Timur, merupakan salah satu kawasan penghasil belerang terbesar yang ada di Dunia. Menurut pengelola Taman Nasional Alas Purwo yang membawahi kawasan Kawah Gunung Ijen, sedikitnya jumlah belerang yang dihasilkan adalah sebanyak 14 ton per harinya. Jumlah tersebut baru sekitar 20% dari potensi yang sesungguhnya disediakan oleh alam (Witiri, SR dan Sri Sumiarti, 2010).

Di kawasan Kawah Gunung Ijen tersebut terdapat aktivitas penambangan dengan mengalirkan belerang cair dari ujung tebing dimana terdapat sumber utama belerang hingga

menuju ke dasar kawah yang menjadi tempat penimbunan sementara belerang yang telah tersublimasi. Setelah itu belerang yang telah tersublimasi dipecah menggunakan linggis yang nantinya diangkut oleh para penambang. Belerang yang telah dipecah kemudian diangkut menuju puncak kawah yang jaraknya sekitar 300 meter dengan kondisi jalan berliku dan memiliki kemiringan 45°-60°.

Proses pengangkutan belerang tersebut kemudian berlanjut ke tempat penimbangan di Lembah Paltuding yang jaraknya 2 Km. Di tempat tersebut dilakukan penimbangan terhadap jumlah belerang yang diangkut dari dasar Kawah Gunung Ijen. Dalam sekali proses pengangkutan belerang, para penambang rata-rata mampu mengangkut beban seberat 75-90 Kg dengan berat alat angkut 3,45 Kg dan dalam satu hari kerja para penambang tersebut mampu melakukan 1-2 kali proses pengangkutan, bergantung pada kemampuan dari masing-masing penambang. Belerang yang telah ditimbang di pos penimbangan tersebut akan diangkut kembali oleh penambang menuju area parkir kawasan Kawah Gunung Ijen yang jaraknya 1 km. Di area parkir tersebut terdapat

truk yang digunakan untuk mengangkut belerang menuju tempat penampungan belerang.

Aktivitas pengangkutan belerang yang ada di kawasan Kawah Gunung Ijen masih dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan alat bantu berupa pikulan. Alat tersebut terbuat dari potongan bambu yang berada di tengah dan di kedua ujungnya terdapat keranjang dari bahan anyaman bambu sebagai tempat belerang. Namun, meskipun sederhana, dengan melihat beban belerang yang diangkat, alat ini dapat dikatakan cukup kuat. Tidak terlihat kerusakan seperti patah pada bagian penyangga yang berada di tengah ataupun kedua keranjang yang rusak akibat mengangkut belerang meskipun digunakan berkali-kali.

Proses pengangkutan material menggunakan alat pikul termasuk dalam metode *Yoke*. Menurut Datta dan Ramanathan (1971) dalam Sanders dan McCormick (2006), metode *Yoke* adalah metode pengangkutan yang menempatkan tumpuan beban pada salah satu bahu. Metode *Yoke* membutuhkan konsumsi oksigen yang tinggi dibandingkan metode pengangkutan lainnya. Selain itu, metode pengangkutan *Yoke* juga menimbulkan resiko *injury* yang cukup besar terutama bila beban yang dibawa berat dan atau jarak yang ditempuh jauh seperti pada kasus pengangkutan belerang di kawah ijen.

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan kepada beberapa penambang, dapat diketahui bahwa salah satu resiko yang muncul pada penambang belerang ini adalah bagian bahu yang menjadi menebal. Hal tersebut merupakan efek jangka panjang dari kebiasaan para penambang yang mengangkut belerang dengan menggunakan alat yang tidak diberi bantalan untuk mengurangi gesekan secara langsung terhadap tubuh bagian bahu. Pada mulanya, gesekan potongan bambu pada alat angkut dengan bahu penambang akan menimbulkan luka lecet. Kebanyakan, luka lecet dirasakan oleh penambang yang masih baru. Namun, umumnya bahu penambang berangsur-angsur menyesuaikan dengan kondisi yang dihadapi sehingga bahu menebal dan luka lecet tidak dirasakan lagi. Selain perubahan pada bahu, berdasarkan hasil wawancara juga dapat diketahui bahwa *injury* yang paling sering dirasakan oleh para penambang adalah rasa sakit yang terjadi di bagian kaki, lutut dan pinggang. Rasa sakit yang dirasakan tersebut

terjadi karena terlalu beratnya beban yang diangkat dan jarak yang ditempuh sehingga menyebabkan cedera pada tulang belakang yang juga memberikan rasa sakit pada kaki, lutut, punggung dan pinggang.

Adanya resiko menimbulkan perubahan kondisi tubuh dan cedera ini bertentangan dengan prinsip ergonomi serta kesehatan dan keselamatan kerja. Untuk itu diperlukan analisa metode pengangkutan yang dapat mengurangi resiko cedera. Metode pengangkutan belerang dipengaruhi oleh alat angkut yang digunakan penambang. Oleh karena itu, interaksi antara penambang dengan alat angkut harus diperhatikan. Selain mengurangi resiko cedera, metode pengangkutan dan interaksi penambang dengan alat angkutnya harus tetap memberikan kenyamanan kerja bagi penambang (Arimbawa, 2010).

Kenyamanan kerja dari penambang dapat diukur berdasarkan besarnya pengeluaran energi, banyaknya denyut jantung per menit, lamanya waktu istirahat. Selain itu, hal ini dapat dilihat pula berdasarkan banyaknya keluhan yang dirasakan oleh penambang. Desain alat bantu yang tepat akan memberikan kenyamanan yang lebih bagi penambang dan mengurangi resiko cedera yang terjadi.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian adalah tahap yang harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum melakukan penyelesaian masalah yang sedang dibahas. Berikut ini akan dijelaskan mengenai jenis penelitian, tempat dan waktu penelitian, metode pengambilan data, sumber data, dan tahap-tahap penelitian yang ditempuh dalam menyelesaikan permasalahan.

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Kawah Gunung Ijen yang berada di wilayah Kecamatan Licin, Kabupaten Banyuwangi dan Kecamatan Klobang, Kabupaten Bondowoso, Provinsi Jawa Timur pada bulan Maret 2014 - Januari 2015.

2.2 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi Masalah Penelitian
Mengidentifikasi permasalahan yang sedang dihadapi oleh para penambang dalam melakukan aktivitas penambangan

- belerang.
2. Melakukan Studi Lapangan
Studi lapangan dimaksudkan untuk melakukan pengamatan secara langsung di kawasan Kawah Gunung Ijen untuk mengetahui kondisi yang ada di lapangan.
 3. Melakukan Studi Literatur
Studi literatur dilakukan untuk memberikan landasan teori dalam melakukan penelitian. Pada tahap ini dilakukan usaha untuk menggali konsep-konsep maupun teori-teori yang dapat mendukung usaha penelitian. Studi literatur dalam penelitian ini menggunakan literatur buku, skripsi, jurnal dan juga internet serta literatur yang lainnya, dengan materi yang berhubungan dengan desain alat angkut belerang.
 4. Merumuskan Masalah Penelitian
Dari melakukan identifikasi masalah, studi lapangan dan studi literatur, selanjutnya dirumuskan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini.
 5. Menentukan Tujuan Penelitian
Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah ditetapkan sebelumnya. Hal ini ditujukan agar mempermudah peneliti untuk menentukan batasan-batasan yang perlu dalam pengolahan dan analisa data selanjutnya.
 6. Mengumpulkan Data
Data yang dikumpulkan dalam langkah ini dapat dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut:
 - a. Wawancara dan *brainstorming* dilakukan dengan penambang yang berhubungan dengan permasalahan yang diteliti.
 - b. Observasi atau melakukan pengambilan data dengan mengadakan pengamatan secara langsung terhadap keadaan yang sebenarnya di kawasan Kawah Gunung Ijen.
 - c. Dokumentasi pada tahap ini dilakukan dengan mengambil foto-foto yang terkait dengan proses penambangan belerang.
Dengan melakukan metode pengumpulan data tersebut, data-data yang dikumpulkan pada penelitian ini yaitu meliputi:
 - a. Data mengenai keadaan aktivitas penambangan belerang yang ada di kawasan Kawah Gunung Ijen saat ini. Data tersebut meliputi bagaimana proses penambangan belerang mulai dari awal hingga akhir terutama pada aktivitas pengangkutan belerang.
 - b. Data mengenai alat angkut angkut belerang yang digunakan saat ini. Data tersebut meliputi dimensi, material, kelebihan dan kekurangan dari alat angkut belerang yang digunakan saat ini.
 - c. Data mengenai keluhan-keluhan yang dirasakan para penambang selama melakukan aktivitas pengangkutan belerang menggunakan kuesioner *Nordic Body Map* berdasarkan referensi (Nurmianto, 2003).
 - d. Data denyut jantung dari awal hingga akhir proses pengangkutan pada saat melakukan aktivitas pengangkutan belerang menggunakan alat angkut belerang *existing*. Pengukuran denyut jantung ini dilakukan setiap 10 menit. Pengukuran denyut jantung ini menggunakan alat bantu ukur *pulsemeter*.
 - e. Data dimensi tubuh para penambang menggunakan kajian ilmu antropometri (Tarwaka, Bakri dan Sudiajeng, 2004), terutama pada bagian bahu dan punggung.
 7. Mengolah Data
Dari data-data yang telah diperoleh dilakukan pengolahan data. Adapun langkah-langkah pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:
 - a. Melakukan perhitungan dan analisa terhadap keluhan kerja *existing*
Pada tahap ini dilakukan perhitungan dan analisa terhadap keluhan kerja yang dirasakan penambang dalam proses pengangkutan belerang menggunakan kuesioner *Nordic Body Map*. Dari hasil perhitungan dan analisa ini, dapat diketahui nilai besar rata-rata keluhan yang dirasakan tiap bagian tubuh dan dapat digambarkan titik-titik keluhan yang dirasakan pada bagian tubuh para penambang saat proses mengangkut belerang menggunakan alat bantu angkut belerang *existing*.
 - b. Melakukan perhitungan pengeluaran energi *existing*
Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui pengeluaran energi para penambang berdasarkan hubungan dengan jumlah denyut jantung pada saat melakukan aktivitas pengangkutan

belerang menggunakan alat bantu angkut belerang *existing*. Pada tahap ini juga dibuat grafik pengeluaran kerja berdasarkan jumlah denyut jantung saat kondisi *existing*.

c. Melakukan perhitungan waktu istirahat *existing*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui kebutuhan waktu istirahat para penambang untuk aktivitas mengangkut belerang menggunakan alat bantu angkut belerang *existing*.

d. Membuat desain alat bantu

Pada tahap ini, alat bantu angkut belerang didesain berdasarkan data antropometri. Setelah itu, dengan memasukkan data ukuran dan menentukan sebaran beban yang terjadi, dilakukan perhitungan kekuatan rangka untuk menjamin alat bantu dapat menahan beban belerang.

e. Membuat *prototype*

Dari desain alat bantu, dilakukan pembuatan *prototype* fisik alat angkut belerang.

f. Melakukan uji coba desain alat bantu

Berdasarkan desain alat bantu yang telah dibuat, dilakukan uji coba untuk menerapkan alat bantu angkut belerang perbaikan tersebut. Saat melakukan uji coba, juga dilakukan pengumpulan data denyut jantung, data keluhan kerja saat menggunakan alat angkut perbaikan.

g. Melakukan perhitungan dan analisa terhadap keluhan kerja setelah perbaikan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dan analisa terhadap keluhan kerja yang dirasakan penambang dalam proses pengangkutan belerang menggunakan kuesioner *Nordic Body Map*. Dari hasil perhitungan dan analisa ini, dapat diketahui nilai besar rata-rata keluhan yang dirasakan tiap bagian tubuh dan dapat digambarkan titik-titik keluhan yang dirasakan pada bagian tubuh para penambang saat proses mengangkut belerang menggunakan alat bantu angkut belerang perbaikan.

h. Melakukan perhitungan pengeluaran energi setelah perbaikan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui pengeluaran energi para penambang berdasarkan hubungan dengan jumlah denyut jantung pada saat

melakukan aktivitas pengangkutan belerang menggunakan alat bantu angkut belerang perbaikan. Pada tahap ini juga dibuat grafik pengeluaran kerja berdasarkan jumlah denyut jantung saat kondisi setelah perbaikan.

i. Melakukan perhitungan waktu istirahat setelah perbaikan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui kebutuhan waktu istirahat para penambang untuk aktivitas mengangkut belerang menggunakan alat bantu angkut belerang perbaikan. Waktu istirahat ini waktu yang direkomendasikan untuk para penambang sebelum melakukan aktivitas kembali.

8. Menganalisa Hasil

Pada tahap ini dilakukan analisa hasil pengambilan data dari perancangan alat bantu angkut belerang perbaikan dan membandingkan dengan keadaan sebelum adanya alat bantu angkut belerang perbaikan tersebut.

9. Menarik Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dibuat berdasarkan seluruh tahapan yang dilalui dalam penelitian dimana peneliti melakukan penarikan kesimpulan berhubungan dengan tujuan penelitian yang ingin dicapai, sedangkan saran merupakan masukan yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Saran diperlukan untuk kepentingan pada masa akan datang untuk kesempurnaan penelitian. Pengajuan saran diharapkan dapat bermanfaat bagi penambang dan peneliti yang lain ketika akan melakukan penelitian dengan tema serupa.

3. Pengolahan Data Kondisi Existing

Berikut ini tahap pengolahan data kuesioner *Nordic Body Map*, Denyut Jantung, Pengeluaran Energi dan Waktu Istirahat yang dilakukan pada saat kondisi *existing*.

3.1 Perhitungan *Nordic Body Map*

Berdasarkan pengambilan data kuesioner *Nordic Body Map* yang dilakukan terhadap 10 penambang belerang di Kawah Gunung Ijen, didapatkan 10 keluhan terbesar yang sering dirasakan penambang sebagaimana tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Keluhan 10 Terbesar Berdasarkan *Nordic Body Map* saat Kondisi *Existing*

No	Kode Titik Keluhan	Letak Keluhan	Nilai Rata-Rata
1	21	Sakit pada lutut kanan	3,7
2	3	Sakit di bahu kanan	3,6
3	23	Sakit pada betis kanan	3,6
4	7	Sakit pada pinggang	3,5
5	20	Sakit pada lutut kiri	3,5
6	1	Sakit/kaku di leher bagian bawah	3,4
7	6	Sakit pada lengan atas kanan	3,3
8	22	Sakit pada betis kiri	3,3
9	8	Sakit pada bawah pinggang	3,2
10	19	Sakit pada paha kanan	3,1

3.2 Perhitungan Denyut Jantung

Pengukuran denyut jantung pada tahap ini, dilakukan dengan cara mengukur denyut jantung para penambang dari kondisi awal hingga akhir aktivitas penambangan. Pengambilan data denyut jantung ini dilakukan setiap 10 menit sekali menggunakan alat bantu ukur *pulsemeter*. Data denyut jantung dari pengukuran yang telah dilakukan tersebut terhadap Penambang 1, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Grafik Denyut Jantung Penambang 1 Kondisi *Existing*

Data denyut ini selanjutnya akan digunakan untuk melakukan perhitungan pengeluaran energi dan penentuan waktu istirahat dalam melakukan aktivitas penambangan belerang.

Pada tahap perhitungan pengeluaran energi ini, bertujuan untuk mengetahui pengeluaran energi yang dibutuhkan oleh satu orang penambang untuk satu kali aktivitas penambangan dari awal sampai akhir. Berikut ini adalah contoh perhitungan pengeluaran energi yang dibutuhkan:

Pengeluaran energi pada saat istirahat (PEI)

(Orang 1, total waktu 450 menit, rata-rata denyut jantung normal = 65 denyut/menit)

$$Y = 1,80411 - 0,0229038 \bar{X} + (4,71733 \cdot 10^{-4}) \times \bar{X}^2 \text{ (pers.1)}$$

$$Y = 1,80411 - 0,0229038 (65) + (4,71733 \cdot 10^{-4}) \times 65^2$$

$$Y = 2,308 \text{ Kkal per menit}$$

Total pengeluaran energi pada saat istirahat

$$= Y \times \text{total waktu kerja} \text{ (pers.2)}$$

$$= 2,308 \text{ Kkal/menit} \times 450 \text{ menit}$$

$$= 1.038,796 \text{ Kkal}$$

Pengeluaran energi pada saat aktivitas (TKE)

Denyut jantung menit 20 = 82 denyut/menit,
 selisih denyut = 82 - 65 = 17 denyut/menit

$$Y = 1,80411 - 0,0229038 X + (4,71733 \cdot 10^{-4}) \times X^2$$

$$Y = 1,80411 - 0,0229038 \times 17 + (4,71733 \cdot 10^{-4}) \times 17^2$$

$$Y_1 = 1,551 \text{ Kkal per menit}$$

Denyut jantung menit 30 = 92 denyut/menit,
 selisih denyut = 92 - 65 = 27 denyut/menit

$$Y = 1,80411 - 0,0229038 X + (4,71733 \cdot 10^{-4}) \times X^2$$

$$Y = 1,80411 - 0,0229038 \times 27 + (4,71733 \cdot 10^{-4}) \times 27^2$$

$$Y_2 = 1,530 \text{ Kkal per menit}$$

Pengeluaran energi pada menit 20-30

$$= \frac{1}{2} \times (Y_1 + Y_2) \times \text{total waktu} \text{ (pers.3)}$$

$$= \frac{1}{2} \times (1,551 + 1,530) \times 10$$

$$= 15,403 \text{ Kkal}$$

Total pengeluaran energi saat aktivitas (TKE)
 = jumlah pengeluaran energi menit 0 sampai menit 450

$$= 8,507 + 16,262 + 15,403 + \dots + 15,677 + 16,032$$

$$= 989,760 \text{ Kkal}$$

Total pengeluaran energi

$$= \text{PEI} + \text{TKE} \text{ (pers.4)}$$

$$= 1.038,796 + 989,76 = 2.028,556 \text{ Kkal}$$

Maka didapatkan hasil perhitungan pengeluaran energi untuk melakukan satu siklus aktivitas 2 kali pengangkutan belerang seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Pengeluaran Energi Penambang 1 Kondisi *Existing*

Perhitungan	Hasil
Total Waktu Kerja (menit)	450
Total Pengeluaran Energi Saat Istirahat (Kkal)	1.038,796
Total Pengeluaran Energi Saat Aktivitas (Kkal)	989,760
Total Pengeluaran Energi (Kkal)	2.028,556
Rata-rata Pengeluaran Energi Saat Istirahat (Kkal/menit)	2,308
Rata-rata Pengeluaran Energi Saat Aktivitas (Kkal/menit)	4,399
Rata-rata Pengeluaran Energi (Kkal/menit)	6,707

Setelah melakukan perhitungan terhadap pengeluaran energi yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap kebutuhan waktu istirahat menurut

Wignjosoebroto, S (2003). Berikut ini adalah contoh perhitungan waktu istirahat yang dibutuhkan:

Pengeluaran Energi Orang 1 = 6,707 Kkal,
 Total waktu kerja 450 menit

$$R = \frac{T(\bar{K} - S)}{\bar{K} - 1,5} \quad (\text{pers.5})$$

$$R = \frac{450(6,707 - 5)}{6,707 - 1,5}$$

$$R = 147,5 \text{ menit}$$

4. Alternatif Desain Alat Angkut Belerang Perbaikan

Metode pengangkutan yang digunakan sebagai alternatif metode pengangkutan perbaikan adalah metode *Rucksack*, yaitu metode pengangkutan yang bertumpu pada kedua sisi bahu. Karena metode tersebut memiliki konsumsi lebih sedikit daripada metode yang ada saat ini yaitu metode *Yoke*. Selain itu, dengan bertumpu pada bahu, maka beban belerang yang diangkut juga lebih tersebar merata pada tubuh.

Untuk rangka alat angkut perbaikan sendiri terbuat dari bahan aluminium. Hal tersebut disebabkan aluminium memiliki berat ringan dibandingkan dengan logam lain, seperti besi dan *stainless steel*. Selain itu, aluminium juga memiliki ketahanan yang cukup terhadap korosi.

Keranjang yang digunakan pada alat angkut perbaikan ini terbuat dari bahan bambu. Pemilihan bambu disebabkan bambu memiliki massa yang ringan dan juga cukup kuat untuk mengangkut belerang dengan berat mencapai 75-90 Kg. dari beberapa alternatif tersebut didapatkan desain alat angkut perbaikan seperti pada Gambar 2.



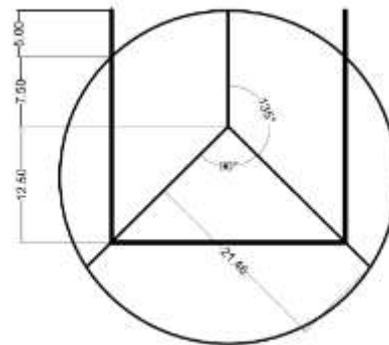
Gambar 2 Desain Alat Angkut Belerang Perbaikan

5. Perhitungan Kekuatan Rangka Prototipe

Untuk menghitung kemampuan rangka alat angkut terhadap beban yang diberikan, perlu dilakukan analisa. Analisa ini

menggunakan *software* STAAD Pro. Tahapan analisa kekuatan rangka adalah dengan menentukan titik tumpuan, menentukan area yang menerima beban, dan menentukan nilai beban secara keseluruhan.

Titik tumpuan telah ditentukan yaitu pada kedua batang yang melintang secara horizontal. Setelah itu area yang menerima gaya yaitu pada bagian bawah rangka penyangga. Karena area tersebut yang paling dominan dalam menerima beban. Tetapi pada bagian tersebut tidak secara keseluruhan menerima beban gaya, karena keranjang yang digunakan berbentuk tabung. Untuk itu ditentukan luas area yang menerima beban seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Distribusi Beban pada Rangka

Berdasarkan penentuan luas area tersebut, maka didapatkan nilai luas area yaitu 305,61 cm² dan 407,69 cm². Sehingga total luas lingkaran adalah 1.018,91 cm².

Setelah diketahui luas area yang menerima beban, selanjutnya menghitung nilai beban yang terjadi pada area tersebut. Dengan Asumsi beban yang ada adalah 100 Kg. Contoh perhitungan terdapat pada perhitungan berikut:

$$\text{Beban pada luasan} = \frac{\text{total beban}}{\text{total luas lingkaran}} \times \text{luas area} \quad (\text{pers.6})$$

$$\text{Beban pada luasan} = \frac{100 \text{ Kg}}{1.018,91 \text{ cm}^2} \times 305,61 \text{ cm}^2 = 29,99 \text{ Kg}$$

$$\text{Beban pada luasan} = \frac{100 \text{ Kg}}{1.018,91 \text{ cm}^2} \times 407,69 \text{ cm}^2 = 40,01 \text{ Kg}$$

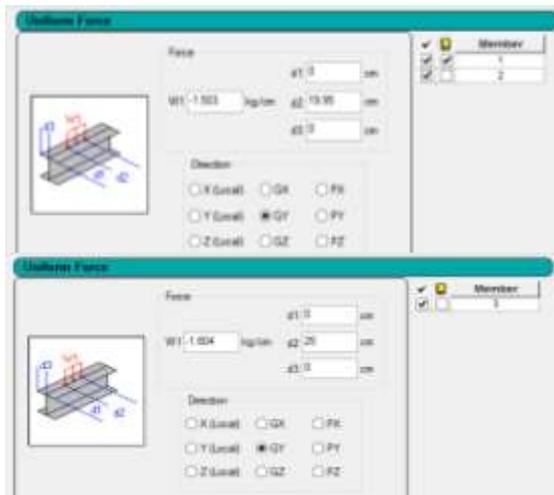
Dengan asumsi persebaran gaya merata pada bagian tersebut, kemudian dihitung beban merata yang diterima tiap batang tersebut dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Beban merata pada batang} = \frac{\text{Beban pada luasan}}{\text{panjang batang yang menerima beban}} \quad (\text{pers.7})$$

$$\text{Beban merata pada batang} = \frac{29,99 \text{ Kg}}{19,95 \text{ cm}} = 1,503 \text{ Kg/cm}$$

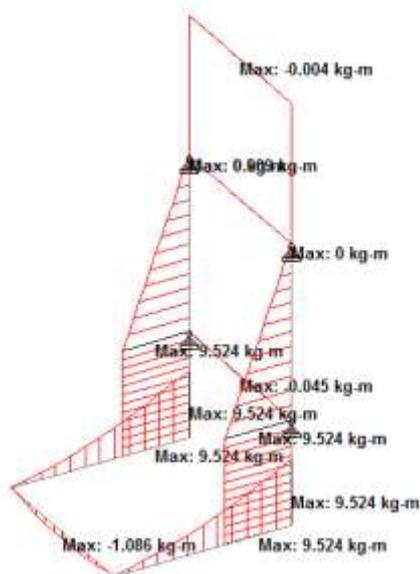
$$\text{Beban merata pada batang} = \frac{40,01 \text{ Kg}}{25 \text{ cm}} = 1,604 \text{ Kg/cm}$$

Kemudian data beban tersebut dimasukkan ke dalam *software* STAAD Pro seperti pada Gambar 4 untuk dilakukan analisa terhadap kekuatan rangka tersebut.



Gambar 4 Proses Memasukkan Nilai Beban pada *software* STAAD Pro

Setelah dilakukan analisa perhitungan menggunakan *software* STAADPro, didapatkan momen maksimum akibat beban yaitu sebesar 9.524 Kgm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Nilai Momen Hasil Analisa

Dan tahanan profil atau kekuatan rangka yang digunakan dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Mn = Z x fy \quad (\text{pers.8})$$

Keterangan:

Mn = Momen nominal tahanan profil (Kgm)

Z = Modulus penampang profil (cm^3)

Fy = Tegangan leleh (Mpa)

$$Mn = Z x fy$$

$$Mn = 0,56 \text{ cm}^3 \times 196 \text{ Mpa} = 109,76 \text{ Kgm}$$

Sehingga didapatkan kontrol faktor tahanan profil terhadap beban sebagai berikut:

$\emptyset Mn$ = momen maksimum rangka (Kgm)
 (0,9 = tetapan titik aman, *allowance* agar tidak mencapai beban maksimum)

$$\begin{aligned} \emptyset Mn &= 0,9 \times (109,76) \\ &= 98,784 \text{ Kgm} > \text{momen maksimum} \\ &\text{akibat beban (9,524 Kgm)} \end{aligned}$$

Karena nilai momen maksimum rangka lebih besar daripada nilai momen maksimum akibat beban yang terjadi, maka dapat dikatakan bahwa profil rangka aman menahan beban yang terjadi dengan massa 100 Kg.

6. Analisa Hasil

Setelah melakukan ujicoba alat angkut perbaikan dan juga melakukan pengambilan data pada saat kondisi perbaikan, kemudian dilakukan perbandingan dengan kondisi *existing*.

6.1 Keluhan Nordic Body Map

Proses yang dilakukan sama seperti pada saat kondisi *existing* yaitu dengan memberikan kuesioner *Nordic Body Map* kepada 10 orang penambang yang sama, kemudian didapatkan hasil sebagaimana tersaji pada Tabel 3.

Dapat dilihat bahwa terjadi perubahan pada 10 keluhan terbesar yang dirasakan pada saat kondisi *existing* pada Tabel 1 dengan kondisi perbaikan pada Tabel 3. Letak keluhan paling tinggi yang dirasakan yaitu pada bagian lutut sebelah kanan dengan nilai 3,7. Hal tersebut disebabkan oleh proses pengangkutan belerang yang harus melalui medan jalan yang terjal sehingga aktivitas tersebut lebih banyak bertumpu pada bagian tubuh lutut. Namun selain lutut sebelah kanan, bagian lutut sebelah kiri juga mengalami keluhan kerja yang paling sering dirasakan oleh para penambang yaitu sebesar 3,5. Lutut sebelah kanan memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan lutut kiri karena posisi alat angkut yang ditumpukan pada bagian tubuh sisi sebelah kanan.

Tabel 3 Data Keluhan 10 Terbesar Berdasarkan *Nordic Body Map* saat Kondisi Perbaikan

No	Kode Titik Keluhan	Letak Keluhan	Nilai Rata-Rata
1	20	Sakit pada lutut kiri	3,5
2	21	Sakit pada lutut kanan	3,5
3	8	Sakit pada bawah pinggang	3,3
4	23	Sakit pada betis kanan	3,3
5	22	Sakit pada betis kiri	3,2
6	7	Sakit pada pinggang	3,1
7	3	Sakit di bahu kanan	2,9
8	1	Sakit/kaku di leher bagian bawah	2,8
9	2	Sakit di bahu kiri	2,7
10	5	Sakit di punggung	2,6

Sehingga pada saat berjalan para penambang lebih cenderung bertumpu pada kaki sebelah kanan. Selain itu keluhan yang terjadi pada bagian betis kanan dengan nilai 3,6, bagian betis kiri dengan nilai 3,3 dan juga bagian paha sebelah kanan dengan nilai 3,1 juga disebabkan oleh medan terjal yang harus ditempuh saat berjalan. Karena untuk menopang tubuh saat mengangkat belerang yang bergerak dinamis adalah tubuh bagian kaki. Sehingga bagian tubuh kaki penambang harus memiliki kekuatan lebih karena cenderung memiliki nilai keluhan yang tinggi.

Keluhan berikutnya yaitu bagian bahu sebelah kanan dengan nilai 3,6. Hal tersebut disebabkan alat angkut *existing* yang hanya bertumpu pada satu sisi tubuh. Para penambang saat mengangkat belerang menggunakan kedua bahu sebagai tumpuan secara bergantian, namun lebih sering menggunakan bahu sebelah kanan dibandingkan dengan bahu sebelah kiri. Selain itu, bagian tubuh lengan atas sebelah kanan dengan nilai 3,3 disebabkan karena dalam mengangkat belerang dengan alat *existing* tangan digunakan untuk membantu menyeimbangkan beban agar tidak jatuh saat dipikul. Dan tangan tersebut cenderung statis dengan kondisi yang tertekuk dan dalam waktu yang lama.

Selanjutnya adalah keluhan pada bagian pinggang dengan nilai 3,5 dan bagian pinggang bawah dengan nilai 3,2. Hal tersebut karena dalam proses *manual material handling*, bagian tubuh yang paling besar menerima tekanan akibat beban statis tersebut adalah pada bagian tubuh pinggang dan pinggang bagian bawah. Terlebih dalam proses pengangkutan belerang ini, beban yang diangkat berat yang 75-90 Kg dan juga membutuhkan waktu yang cukup lama

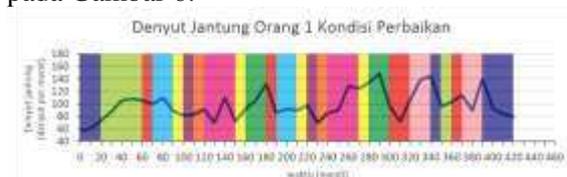
dengan rata-rata 7 jam dalam satu hari kerja. Untuk keluhan selanjutnya yaitu pada bagian tubuh sakit atau kaku dibagian leher bawah. Hal tersebut karena ketika proses pengangkutan leher menerima beban secara statis sehingga menyebabkan sakit atau kaku pada leher bagian bawah.

Berikutnya pada bagian tubuh bahu kiri dan punggung. Karena pada alat angkut belerang perbaikan bertumpu pada 2 sisi bahu, tidak hanya bertumpu pada salah satu sisi bahu saja. Dengan pusat tumpuan pada kedua sisi bahu, bagian punggung juga merasakan beban yang tersebar merata pada tubuh. Namun jika dibandingkan dengan nilai pada saat kondisi *existing*, nilai pada kedua bagian tersebut mengalami penurunan. Dari yang awalnya bernilai 3, menjadi 2,7 pada bagian bahu kiri dan 2,6 pada bagian punggung.

Secara keseluruhan alat angkut belerang perbaikan ini mampu untuk mengurangi keluhan *injury* yang dirasakan. Terlihat bahwa rata-rata keluhan terjadi penurunan nilai. Penurunan tersebut karena pada alat angkut perbaikan terdapat bantalan yang mampu mengurangi gesekan langsung dengan tubuh. Selain itu dengan menggunakan metode pengangkutan *Yoke* membuat beban yang diterima oleh tubuh tidak hanya berpusat pada satu sisi tubuh saja. Sehingga para penambang merasa nyaman dan lebih baik saat menggunakan alat angkut perbaikan. Keluhan *injury* yang dirasakan mengalami penurunan terutama pada bagian bahu dan tangan.

6.2 Perbandingan Denyut Jantung

Denyut jantung pada saat menggunakan alat angkut belerang perbaikan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik Denyut Jantung Penambang 1 Kondisi Perbaikan

Perbandingan nilai rata-rata denyut jantung tersaji pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa rata-rata denyut jantung pada saat melakukan aktivitas pengangkutan belerang dengan menggunakan alat angkut belerang mengalami penurunan.

Tabel 4 Hasil Perbandingan Denyut Jantung Penambang 1 Kondisi *Existing*

Hasil Pengukuran	Kondisi Existing	Kondisi Perbaikan
Denyut Jantung Normal (denyut/menit)	65	56
Rata-rata Denyut Jantung Kerja (denyut/menit)	123	102
Denyut Jantung Maksimal (denyut/menit)	163	149
Total Waktu Kerja (menit)	450	420

Pada saat kondisi *existing* denyut jantung kerja termasuk kategori beban kerja yang berat dengan rata-rata denyut jantung 123 denyut per menit. Sedangkan pada kondisi perbaikan termasuk kategori beban kerja sedang dengan rata-rata denyut jantung 102 denyut per menit.

Tabel 5 Perbandingan Pengeluaran Energi Kondisi *Existing* dan Kondisi Perbaikan

Hasil Perhitungan	Kondisi Existing	Kondisi Perbaikan
Total Pengeluaran Energi Saat Aktivitas (Kkal)	989,760	801,435
Total Pengeluaran Energi (Kkal)	2.028,556	1.641,743
Rata-rata Pengeluaran Energi Saat Aktivitas (Kkal/menit)	4,399	3,816
Rata-rata Pengeluaran Energi (Kkal/menit)	6,707	5,817
Waktu Istirahat (menit)	147,5	79,5

Hasil pengukuran denyut jantung berhubungan dengan pengukuran pengeluaran energi. Pengeluaran energi saat kondisi perbaikan juga mengalami penurunan akibat dari turunnya denyut jantung selama beraktivitas. Hasil perbandingan Pengeluaran energi pada saat kondisi *existing* dengan kondisi perbaikan ditunjukkan pada Tabel 5.

Dapat dilihat pada Tabel 5 bahwa pengeluaran energi pada saat kondisi perbaikan secara keseluruhan mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi *existing*. Pada saat kondisi *existing*, rata-rata pengeluaran energi adalah 6,707 Kkal per menit dengan total

pengeluaran energi saat aktivitas 2.028,556 Kkal. Sedangkan pada kondisi perbaikan, rata-rata pengeluaran energi adalah 5,817 Kkal per menit dengan total pengeluaran energi saat aktivitas 1.641,743 Kkal. Dari analisa perhitungan denyut jantung dan pengeluaran energi, dapat dilihat bahwa segmen aktivitas yang lebih sering mengalami kenaikan denyut jantung paling tinggi pada saat kondisi *existing* adalah pada aktivitas berjalan naik dari dasar kawah ke puncak kawah untuk pengangkutan belerang yang kedua. Sedangkan pada saat kondisi *existing*, segmen aktivitas yg paling tinggi adalah pada aktivitas berjalan dari dasar kawah ke puncak kawah untuk pengangkutan belerang yang pertama. Hal tersebut disebabkan karena pada aktivitas berjalan dari dasar kawah ke puncak kawah memang membutuhkan tenaga yang lebih untuk melalui jalan yang menanjak dan terjal. Dan pada saat aktivitas tersebut, penambang juga dalam kondisi mengangkut belerang. Kenaikan denyut jantung aktivitas tersebut juga menyebabkan pengeluaran energi yang dibutuhkan juga meningkat sesuai kenaikan denyut jantung aktivitas.

Berdasarkan hasil pengukuran denyut jantung, pengeluaran energi dan waktu istirahat, dapat dikatakan bahwa penggunaan alat angkut perbaikan sudah cukup baik. Hal tersebut dapat membantu penambang untuk menjaga tubuh mereka dari resiko yang ditimbulkan akibat beban kerja saat mengangkut belerang. Adanya penurunan pengeluaran energi juga menyebabkan tingkat kelelahan yang terjadi juga menurun. Sehingga waktu istirahat yang dibutuhkan untuk pemulihan kondisi setelah bekerja juga menurun karena tingkat kondisi kebugaran mengalami peningkatan.

7. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat bantu angkut Belerang perbaikan menggunakan metode *rucksack*, keranjang terbuat dari bambu, rangka terbuat dari bahan aluminium.
2. Berdasarkan kuesioner *Nordic Body Map*, didapatkan perubahan 10 titik keluhan terbesar yang dirasakan oleh penambang.
3. Berdasarkan pengukuran denyut jantung, didapatkan penurunan nilai rata-rata dari 123 denyut per menit menjadi menjadi

102 denyut per menit. Untuk kategori beban kerja mengalami perubahan dari kategori berat menjadi kategori sedang. Kemudian berdasarkan perhitungan pengeluaran energi menggunakan denyut jantung, didapatkan penurunan nilai rata-rata pengeluaran energi dari 6,707 Kkal per menit menjadi 5,817 Kkal per menit. Begitu juga dengan nilai total pengeluaran energi saat aktivitas mengalami penurunan dari 2.028,556 Kkal menjadi 1.641,743 Kkal. Sedangkan berdasarkan perhitungan waktu istirahat rekomendasi setelah aktivitas didapatkan penurunan dari 147,5 menit menjadi 79,5 menit.

Daftar Pustaka

- Arimbawa, IMG. (2010). *Redesain Peralatan Kerja Secara Ergonomis*. Denpasar: UNUD Press.
- Nurmianto, Eko. (2003). *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya*. Jakarta : Guna Widya.
- Sanders, M.S. dan E.J McCormick. (2006). *Human Factor in Engineering And Design 7th edition*. The Mcgraw – Hill Companies.
- Tarwaka, Bakri Solichul HA, dan Lilik Sudiadjeng. (2004). *Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*. Surakarta: Uniba Press.
- Wignjosoebroto, S. (2003). *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*. Surabaya.: Guna Widya.
- Witiri, SR dan Sri Sumiarti. (2010). Kawah Ijen Penghasil Belerang Terbesar. Available: <http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/3509-kawah-ijen-penghasil-belerang-terbesar.html>, (diakses pada hari Sabtu, 26 April 2014 Pk.19.12 WIB).