



Artikel Penelitian

Desain dan Analisis *Artificial Exoskeleton* pada Prajurit TNI

Rudi Salam, Mohd. Iqbal, Iskandar Hasanuddin

Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: Juni 8, 18
Revised: Juli 31, 18
Available online: October 30, 18

KEYWORDS

Artificial Exoskeleton, biomekanika, desain, Tentara Nasional Indonesia

CORRESPONDENCE

Phone: +6281268751555
E-mail: rudysalam1991@gmail.com

A B S T R A C T

Soldier's activities resulted in too much workload received by the body, especially in the back and waist. These conditions produce a high risk of musculoskeletal disorders especially if conducted continuously. The soldiers must carry a backpack containing supplies during training weighing up to 40 kg on average. All activities are conducted manually until the training is finish. Thus, the purposes of this study are to reduce spinal injury by identifying factors resulting from lifting loads that exceed the limits of the body, calculate the maximum load limit that can be carried by a soldier, and produce artificial exoskeleton as a tool for the Indonesian Armed Forces. The study used anthropometry, biomechanics, and physiological approach in solving the problem. The results show that the safe load can be carried by the soldiers is 30.46 kg. The body parts that feel the complaint are the upper neck, back, shoulder, buttocks. In addition, this study can produce a design of an artificial exoskeleton with the following dimensions: chest thickness 23 cm, chest width 32 cm, back length 52 cm. The soldiers can increase the force load by 9% of the initial weight of the load using this design.

PENDAHULUAN

Kekuatan militer memiliki posisi strategis bagi pertahanan suatu negara bahkan untuk mengamankan kepentingan nasional (*national interen*). Sejarah juga membuktikan bahwa kekuatan militer merupakan hal yang vital dalam diplomasi sejak *Pax Britannica*, *Pax Romania*, bahkan *Pax Americana* sekarang. Diplomasi yang baik selalu ditopang kekuatan senjata dan kemampuan para prajurit. Hubungan diplomasi dengan kekuatan senjata dan kemampuan prajurit di atas jelas, sebab jika diplomasi diartikan sebagai *conduct business by peacefull means* (penyelesaian dengan cara-cara damai) sekalipun, kualitas diplomasi akan tetap ditentukan oleh posisi tawar (*bargaining position*). Jika kekuatan militer tadi dipadukan dengan kekuatan ekonomi, sehingga semakin meningkatkan wibawa dan pengaruh sekaligus menambah kekuatan untuk menekan dalam tawar menawar, maka kepemilikan militer, kekuatan ekonomi dan kemampuan serta profesionalisme anggota prajurit adalah suatu keharusan [1].

Profesionalisme prajurit adalah salah satu hal yang dapat mencerminkan pesatnya perkembangan industri pertahanan yang sebaiknya diimbangi dengan perhatian akan kesehatan, keselamatan, dan keamanan kerja bagi para prajurit itu sendiri. Peranan manusia dalam aktivitas proses latihan fisik maupun mental yang masih banyak dilakukan secara manual dan berulang secara terus-menerus, dapat menyebabkan masalah ergonomi yang sering dijumpai di tempat kerja khususnya pada skala

DOI: [10.25077/josi.v17.n2.p135-142.2018](https://doi.org/10.25077/josi.v17.n2.p135-142.2018)

latihan fisik secara kontinuitas yang bersifat simulasi atau lapangan. Posisi tubuh, sikap kerja/latihan militer yang tidak tepat dan terlalu lama menyebabkan nyeri pada anggota tubuh anggota prajurit dan menimbulkan efek negatif pada kesehatan. Salah satu masalah yang umum dijumpai adalah *musculoskeletal disorder* atau penegangan otot bagi anggota prajurit yang melakukan gerakan yang sama dan berulang secara terus-menerus [1].

Pada tahun 1994, tercatat 705.800 kasus (32%) dari seluruh kasus di Amerika Serikat yang terjadi karena kerja/latihan berlebihan (*overexertion*) atau gerakan yang berulang (*repetitive motion*), diantaranya menyebabkan sakit punggung sebanyak 367.424 kasus karena kelebihan beban kerja dalam mengangkat (*overexertion in lifting*). Kasus tersebut 65% diantaranya berpengaruh terhadap punggung, 93.325 kasus karena kelebihan beban kerja dalam mendorong dan menarik benda (*overexertion in pushing* atau *pulling objects*) dan 52% diantaranya berpengaruh terhadap punggung [2]. Sebagaimana lazimnya yang terjadi di industri, sering kali posisi dan tata cara kerja tidak dirancang dengan baik, sehingga akan membawa kinerja operasional menjadi tidak optimal. Kondisi kerja tersebut menyebabkan cepatnya terjadi kelelahan dan timbulnya banyak keluhan, rasa sakit maupun cedera pada anggota tubuh, baik dalam jangka pendek maupun panjang [2]. Hal ini pun terjadi pada anggota prajurit Tentara Nasional Indonesia (TNI).

Tentara Nasional Indonesia Angkatan Darat (TNI-AD) adalah salah satu cabang angkatan perang dan merupakan bagian dari TNI yang bertanggung jawab atas operasi pertahanan negara

Republik Indonesia di wilayah daratan. Aktivitas yang dilakukan anggota TNI-AD perlu mendapat perhatian karena adanya aktivitas yang memiliki beban kerja terlalu berat yang diterima tubuh, khususnya di bagian tulang punggung dan pinggang. Kondisi seperti ini dapat membuat para anggota mengalami risiko *musculoskeletal disorders* bahkan bisa terjadinya cedera jika dilakukan secara terus menerus [3]. Rata-rata seorang anggota TNI harus membawa sebuah tas ransel yang berisi perlengkapan dan persediaan selama latihan ataupun dinas yang beratnya antara 17-25 kg, bahkan ada yang mencapai berat 40 kg/orang. Seluruh kegiatan tersebut dilakukan secara manual hingga proses latihan selesai. Selain itu, beban kerja juga dapat bertambah dengan mengangkat beberapa tas yang berukuran kecil lainnya [4].

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan berat maksimum ransel untuk TNI dengan mengacu pada aturan yang telah ditentukan secara ergonomi dan merancang tulang punggung buatan untuk meminimalisir beban kerja tulang punggung sehingga dapat mengurangi cedera pada TNI [5-7].

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Kodam Iskandar Muda pada bagian Kesdam Dan Batalyon Infanteri 112/ Raider Banda Aceh.

Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2017 sampai dengan April 2018.

Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah anggota prajurit TNI yang melakukan latihan dan simulasi secara terus-menerus dan berulang. Jumlah anggota prajurit yang diamati adalah sebanyak 268 orang (Gambar 1).



Gambar 1. Subjek Penelitian

Studi Pendahuluan

Langkah ini dilakukan untuk mengetahui gejala permasalahan yang ada. Langkah yang dilakukan yaitu:

1. Melakukan wawancara kepada anggota Kodam Iskandar Muda (IM) Banda Aceh.
2. Menyebarkan kuisisioner *Nordic Body Map* (NBM).

Dari studi pendahuluan yang dilakukan, diketahui bahwa permasalahan yang terjadi pada anggota prajurit yaitu adanya kelelahan dan keluhan rasa sakit pada anggota tubuh setelah melakukan latihan dengan membawa ransel. Pengangkatan tas ransel ini masih dilakukan secara *manual* dengan membungkukkan punggung dan menggunakan satu kaki sebagai tumpuan [8].

Pengumpulan Data

Setelah tujuan penelitian ditetapkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data. Data merupakan fakta-fakta ataupun angka-angka. Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder.

1. Data primer
Data ini adalah data yang langsung diperoleh dari sumbernya melalui pengamatan dan pencatatan langsung yaitu dengan cara wawancara, penyebaran kuisisioner keluhan subjek penelitian, pengukuran dimensi tubuh pekerja, denyut jantung, dan melakukan pengukuran waktu kerja latihan dan dinas lapangan sebelum dan sesudah perancangan alat [9].
2. Data sekunder
Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini diperoleh dari majalah dan bulletin Kodam Iskandar Muda (IM) Banda Aceh. Data tersebut adalah ukuran tas ransel, berat isi tas ransel yang digunakan dalam latihan/dinas lapangan, cara latihan dan dinas lapangan anggota prajurit, berat badan, umur, tinggi badan, ketebalan dada, tinggi pundak, panjang kaki, lebar dada, panjang *backbone* dan tinggi bahu.

Penelitian ini menggunakan beberapa metode pengumpulan data, yaitu:

1. Wawancara dan penyebaran kuisisioner tertutup
Wawancara dilakukan terhadap anggota prajurit, mengenai objek penelitian dan data-data lain yang dibutuhkan. Kuisisioner tertutup merupakan jenis kuisisioner dimana kolom jawaban sudah disediakan di bagian-bagian pernyataan. Kuisisioner ini juga termasuk pada kuisisioner langsung, karena responden menjawab tentang dirinya sendiri, dan kuisisioner *check list*, karena responden mengisi kolom jawaban dengan *check list*.
2. Observasi
Observasi dilakukan melalui pengamatan dan pengukuran secara langsung pada objek penelitian

Perhitungan Beban Selamat

Setelah data-data yang dibutuhkan terkumpul, maka dilakukan perhitungan biomekanika berat maksimum ransel sesuai ukuran tubuh yang merujuk pada penelitian Ismaila [8]. Perhitungan yang digunakan adalah:

$$A = \frac{\pi \times l_f \times l_s}{4} \quad (1)$$

$$\frac{A \times E \times X^2}{2 \times L} = M_o \times g \times (SH) + \frac{M_o \times u^2}{2} \quad (2)$$

$$M_o = \frac{A \times E \times u^2}{2 \times L \left[g \times (SH) + \frac{u^2}{2} \right]}$$

Perancangan Artificial Exoskeleton

Setelah didapatkan data ukuran antropometri dimensi tubuh anggota prajurit, langkah selanjutnya yaitu melakukan perancangan *artificial exoskeleton* (AE) sesuai dengan data-data antropometri serta berpedoman pada kaidah ergonomi. AE dapat membantu TNI agar dapat mengangkat beban ransel, sehingga tidak lagi menimbulkan bahaya cedera pada tulang belakang dan nyaman serta aman digunakan pada saat latihan, simulasi, lintas medan, dan medan perang.

AE merupakan sebuah rancangan tulang buatan manusia yang disesuaikan dengan kebutuhan pemakainya. Tulang buatan ini sangat berguna untuk membantu manusia yang memiliki kebutuhan khusus (cacat) dalam menjalankan perannya layaknya manusia normal lainnya. Selain itu, tulang buatan juga dapat digunakan pada manusia normal sehingga dapat mempermudah dalam melakukan suatu kegiatan yang memiliki tingkat cedera tinggi dengan tujuan untuk melindungi tulang. Salah satu bahan yang sering digunakan dalam pembuatan *artificial backbone* adalah Biomaterials [5].

Exoskeleton adalah suatu alat semacam pakaian tambahan yang bertujuan tidak hanya untuk melindungi, tetapi juga meningkatkan kemampuan penggunanya. Salah satu contohnya seperti Pinto yang mengalami kelumpuhan sehingga mampu berjalan dan menendang bola, atau memudahkan penggunanya mengangkat beban berat. Dikutip dari *bbc.com* dalam artikelnya yang berjudul "Upaya untuk mengembangkan *exoskeleton* atau robot untuk pekerjaan berbeban berat sudah ditempuh dengan dukungan dana dari Uni Eropa".

Exoskeleton merupakan semacam robot cerdas berbentuk modular yang ringan dan dapat dikendalikan menggunakan

kekuatan pikiran serta sensor dari pergerakan otot manusia. Dengannya, pengguna akan mampu melakukan hal yang sebelumnya tidak bisa dilakukan dengan mudah. *Exoskeleton* dapat menggunakan sistem hidrolik serta baterai. Perancangan AE dilakukan dengan menggunakan *software Autodesk Inventor for design 2015*.

Prosedur Pengujian

Setelah melalui tahapan diatas, maka dilakukan implementasi hasil rancangan terhadap subjek penelitian, agar didapatkan hasil rancangan yang sesuai dengan yang diinginkan dan mendekati keadaan yang sebenarnya serta dapat digunakan. Hasil rancangan yang diimplementasikan kemudian diuji pada saat aktivitas latihan anggota prajurit Kodam Iskandar Muda. Pada tahap pengujian, dilakukan pengukuran terhadap waktu yang digunakan dalam aktivitas latihan, output standar, denyut jantung prajurit, dan keluhan sakit yang dirasakan setelah menggunakan hasil rancangan. Data denyut jantung dan konsumsi oksigen anggota prajurit sebelum dan sesudah latihan diambil dan dianalisis untuk mengetahui beban kerja yang diterima oleh prajurit sesudah dan sebelum menggunakan alat hasil rancangan.

Tahapan akhir dari penelitian ini yaitu melakukan respon terhadap hasil rancangan AE dari pengguna yaitu tentara nasional indonesia terhadap kesesuaian rancangan yang dihasilkan terhadap keamanan dan kenyamanan pada tulang belakang.

Alat Penelitian

Tabel 1 menunjukkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini. Peralatan yang digunakan bertujuan untuk mengukur dimensi antropometri dan denyut jantung prajurit, serta alat dan mesin yang digunakan untuk perancangan AE.

Tabel 1. Peralatan Penelitian

No	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Jangka Sorong	Sigmat Manual Caliper 6"	Alat ukur antropometri
2	Meteran	STANLEY TylonTape 5M	Alat ukur antropometri
3	Stadiometer	Seca 217	Alat ukur antropometri
3	Oximeter	Jumper Pulse Oximeter 500 A	Alat ukur denyut jantung
4	Treadmill	Elektrik Moscow MI	Alat ukur denyut jantung
5	Stetoskop	ABN Classic TS-182	Alat ukur denyut jantung
6	Inventor	Autodesk Inventor for design 2015	Alat bantu perancangan/desain
7	PC/ Laptop	HP/AMD QUAD CORE A10-9620/ 15.6 INCH	Alat bantu perancangan/desain
8	Mesin potong	Mesin Grinda MAKTEK 14 Inch 240	Alat potong
9	Mesin cat	Mesin Spray Gun/ Kompresor	Alat pengecatan
10	Mesin las	Mesin Las Invertertig/Las Argon HT-200	Alat pengelasan
11	Meteran	STANLEY TylonTape 5M	Alat ukur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi keluhan nyeri yang dialami setiap prajurit merupakan tahapan awal yang dilakukan untuk mengetahui dan mengidentifikasi bagian-bagian yang merasakan nyeri setelah melakukan latihan dan simulasi. Tujuan pada tahapan ini adalah mengetahui bagian-bagian tubuh yang mengalami nyeri hingga cedera melalui pemberian kuesioner. Kuesioner dibagikan kepada subjek penelitian selama 2 hari sejak tanggal 4 sampai dengan 5 Desember 2017.

Pembagian kuesioner ini bertujuan untuk menggali lebih dalam mengenai keluhan yang dialami oleh prajurit pada saat melakukan latihan dan simulasi. Simulasi latihan dilakukan 3 kali yaitu pada hari Senin, Rabu, dan Jumat dengan tipe ransel yang disesuaikan dengan jenis latihan atau simulasi yang dilaksanakan, yaitu dengan rata-rata berat ± 40 kg. Subjek penelitian dibagi dalam satu pleton yang terdiri dari 10 orang disetiap pletonnya. Proses latihan atau simulasi dimulai dari jam 08.00 sampai dengan 11.30. Waktu istirahat diberikan selama 1 jam 30 menit, kemudian latihan dilanjutkan kembali pada pukul 14.00 sampai dengan 16.30.

Persentase Keluhan Prajurit

Tabel 2 menunjukkan persentase keluhan yang dirasakan oleh prajurit pada saat membawa ransel saat latihan. Masalah yang paling dominan dialami oleh prajurit yaitu sakit kaku pada leher bagian atas sebesar 32% terasa sakit, 36% sangat sakit, dan merasa cukup sakit sebesar 21%. Kemudian, sakit kaku pada leher bagian bawah 34% sakit dan 40% sangat sakit; sakit dibahu kiri 43% sakit, 25% cukup sakit dan 24% sangat sakit; sakit pada bahu kanan 25% cukup sakit, 42% sakit dan 25% sangat sakit; sakit lengan atas kiri cukup sakit 43%, dan tidak sakit 32%; sakit pada punggung 47% sakit dan 40% sangat sakit; sakit lengan atas kanan 35% tidak sakit, 40% cukup sakit; sakit pada pinggang 30% sakit dan 37% sangat sakit; sakit pada bokong 29% sakit dan 30% sangat sakit; sakit pada pantat 33% sakit dan 32% sangat sakit.

Tabel 2. Persentase Keluhan Prajurit

No	Jenis Keluhan	Tingkat Keluhan							
		Tidak Sakit		Cukup Sakit		Sakit		Sangat Sakit	
		Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%
0	Sakit kaku di leher bagian atas	30	11	57	21	85	32	96	36
1	Sakit kaku dibagian leher Bagian bawah	22	8	47	18	92	34	107	40
2	Sakit dibahu kiri	26	10	60	22	115	43	67	25
3	Sakit dibahu kanan	22	8	67	25	112	42	67	25
4	Sakit lengan atas kiri	105	39	115	43	25	9	23	9
5	Sakit dipunggung	13	5	21	8	126	47	108	40
6	Sakit lengan atas kanan	95	35	107	40	35	13	31	12
7	Sakit pada pinggang	47	18	42	16	80	30	99	37
8	Sakit pada bokong	55	21	54	20	78	29	81	30
9	Sakit pada pantat	45	17	49	18	88	33	86	32

Tabel 3. Data Antropometri

Keterangan	Data							
	Umur	Berat Badan	Tinggi Badan	Panjang Kaki	Tebal Dada	Lebar Dada	Panjang Punggung	Tebal Bahu
	Tahun	kg	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Mean	27.60	70.28	169.09	102.71	22.40	23.16	52.38	145.47
Std. Dev	6.93	7.59	3.95	11.74	3.61	3.15	4.58	4.42
Min	20	58	164	94	14	19	47	138
Maks	42	87	180	145	30	32	62	153
Persentil 5	20	58	165	94	14	19	47	138
Persentil 50	25	70	168	100	23	23	52	145
Persentil 95	42	86	176	145	30	32	62	152

Data antropometri yang digunakan dalam AE antara lain:

1. Tebal Dada (Td)

Tebal Dada merupakan lebar bidang dada tegak yang diukur dari sayap bagian belakang hingga puting. Data antropometri ini digunakan untuk menentukan lingkaran sabuk (*belt*) pengikat AE. Penggunaan data tebal dada untuk menentukan panjang sabuk pengikat pada AE yang bertujuan supaya AE yang dirancang sesuai dengan ketebalan dada berdiri prajurit sehingga memudahkan prajurit dalam menggunakan AE tersebut. Persentil yang digunakan untuk menentukan panjang sabuk (*belt*) maksimal AE ini adalah persentil 50 sebesar 23 cm. Persentil 50 dipilih agar semua prajurit dapat menggunakan AE dengan nyaman dan bisa memberikan kekuatan dalam penekanan pada ruang dada.

Pengukuran Antropometri Prajurit

Pengukuran antropometri tentara merupakan tahapan yang kedua setelah dilakukannya identifikasi keluhan nyeri. Pengukuran antropometri dilakukan pada TNI AD Kodam Iskandar Muda. Pengukuran ini bertujuan untuk mendapatkan bagian-bagian tubuh yang dibutuhkan untuk menghitung beban angkatan yang wajar untuk prajurit dengan merujuk pada penelitian Ismaila [8]. Data yang diukur adalah berat badan, tinggi badan, panjang kaki, tebal dada, lebar dada, panjang punggung dan tinggi bahu.

Pengukuran dilakukan secara manual pada masing-masing prajurit. Pengukuran bagian panjang kaki, panjang punggung, dan tinggi bahu menggunakan *standimeter*. Tebal dada dan lebar dada diukur menggunakan jangka sorong, sedangkan data umur, berat badan, dan tinggi badan diperoleh dari dokumen satuan. Tabel 3 menunjukkan data antropometri yang dikumpulkan.

2. Lebar Dada (Ld)

Data antropometri lebar dada digunakan untuk menentukan diameter lebar dada secara keseluruhan, sehingga prajurit dapat dengan mudah menggunakan AE ini. Persentil yang digunakan untuk menentukan diameter lebar dada AE ini adalah persentil 95 sebesar 32 cm. Persentil 95 dipilih karena data antropometri prajurit memiliki rata-rata yang sangat jauh berbeda dengan masyarakat sipil selain itu agar dapat menyesuaikan dengan alat yang digunakan.

3. Panjang Punggung (Pp)

Panjang punggung dirancang berdasarkan ukuran punggung TNI AD. Bagian ini dipilih untuk menentukan panjang AE yang tepat sehingga dapat mengurangi penyusutan *shrinkage* pada punggung prajurit serta menahan sebahagian dari berat

beban tas punggung tersebut. Persentil yang digunakan untuk menentukan panjang AE ini adalah persentil 50 sebesar 52 cm. Persentil 50 dipilih agar semua prajurit dapat menahan dengan kuat rangka vertebrata serta ketika beban tas diangkat dapat membagi berat pada bagian tulang punggung secara normal antara tulang dengan AE.

Beban Berat Angkatan Maximum Prajurit

Model berbasis energi regangan dikembangkan dari segi lebar dada, kedalaman dada, *Modulus Young Elasticity* dari artikular tulang rawan, penyusutan tulang belakang maksimum yang diijinkan, panjang tulang belakang dan panjang kaki. Dalam perumusan model, berikut asumsi-asumsi yang berlaku [10]:

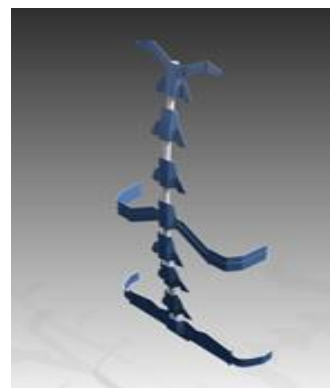
1. Tulang belakang adalah aspek terpenting dari struktur pengangkatan dan karena itu diberi pertimbangan serius.
2. Ujung tulang belakang terdiri dari *hyaline* dan tulang rawan fibro dan dapat dimodelkan sebagai bahan elastis isotonik.
3. Daerah penampang lintang elips subjek manusia diasumsikan Daerah Trintal berbentuk bulat panjang.
4. Energi regangan pada tulang belakang adalah jumlah potensial energi dan energi kinetik beban yang diangkat.
5. Berjalan normal dari pembawa ransel terjadi saat *Founde Number* [11].

Berdasarkan asumsi tersebut, maka diperoleh nilai A (*Elliptical Trunkle Area*) yaitu sebesar 408.41. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai beban angkat yang layak untuk diangkat oleh TNI AD. Hasil perhitungan mendapatkan nilai berat yang harusnya dibawa oleh seorang TNI AD adalah maksimum sebesar 30.46 kg. Hal ini membuktikan bahwa nilai berat yang sebenarnya melebihi dari kemampuan dari prajurit tersebut, beban ransel yang harus dibawa oleh prajurit adalah sebesar 40,01 kg, berarti terdapat kelebihan beban angkat adalah sebesar 9.54 kg. Menurut Aziz *et al.* [12], pekerjaan mengangkut beban di atas punggung kurang menguntungkan karena beberapa otot perut menjadi berkontraksi statis. Beban sebesar 10 kg dianjurkan untuk diangkat pada jarak pendek. Beban sebesar 15–18 kg dianjurkan untuk pekerjaan mengangkut yang terus-menerus. Beban 100 kg sangat membahayakan dan secara fisiologi sangat tidak menguntungkan. Sehingga dapat mengakibatkan keluhan dari penderita.

Nyeri pinggang pada saat melakukan pekerjaan mengangkat disebabkan oleh pembebanan berat yang terjadi secara tiba-tiba dan cara kerja yang salah, sehingga memperbesar terjadinya kemungkinan tersebut. Bila seseorang prajurit mengangkat barang sambil membungkuk, tekanan yang besar sekali terjadi pada daerah pinggang sebagai akibat gaya pengungkit. Jika bagian atas tubuh bobotnya 40 kg dan lengan berjarak 30 cm, maka beban yang bekerja pada ruas tulang pinggang kelima besarnya lebih dari 250 kg. Selain itu, jika ditinjau dari batasan angkat di Indonesia yang ditetapkan melalui Peraturan Menteri Tenaga Kerja Transmigrasi dan Koperasi No. PER.01/Men/1978 tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja dalam bidang Penebangan dan Pengangkutan Kayu, beban angkat ditetapkan dengan dasar perhitungan 5/7 kg berat badan. Contohnya seorang lelaki dengan berat badan 70 kg berarti beban yang dapat diangkat adalah sebesar 50 kg.

Rancangan Artificial Exoskeleton

Dalam penelitian ini dihasilkan suatu AE yang dapat membantu prajurit dalam melakukan aktivitas latihan maupun simulasi. Beberapa penelitian sebelumnya [11] hanya melakukan desain pada bagian tuang belakang saja yang berupa tulang poros seperti ruas penahan atas untuk menjaga tulang belakang mengalami cedera. Pada rancangan AE ini, desain dibuat sedemikian rupa agar dapat membantu prajurit menopang kelebihan beban angkatan tersebut. Selain itu, material yang digunakan sangat mudah didapat (Gambar 2).



Gambar 2. Artificial Exoskeleton

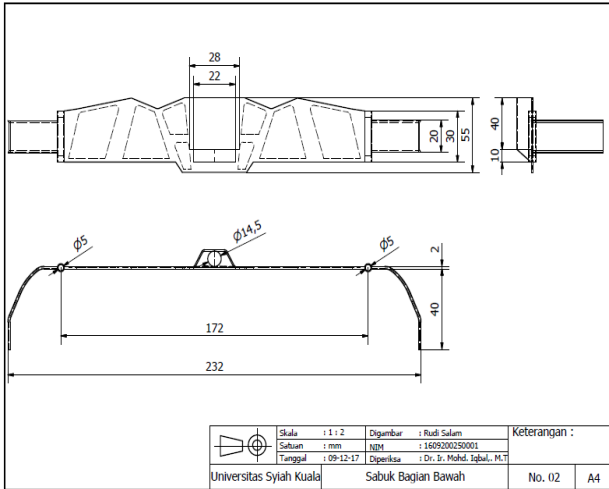
AE dibagi menjadi beberapa bagian diantaranya:

1. Sabuk Bagian Bawah
Sabuk bagian bawah ini terbuat dari besi pelat dengan detail ukuran yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sabuk ini dimaksudkan untuk diletakkan pada perut bagian bawah yang kemudian dikombinasikan dengan *belt* dan *bagclip*. Sabuk bagian bawah ini berfungsi untuk menahan perut (*abdomen*) untuk menghindari terjadinya hernia yang diakibatkan tekanan berat pada tumpuan perut (Gambar 4).
2. Sabuk Bagian Tengah
Sabuk bagian tengah ini terbuat dari besi pelat dengan detail ukuran seperti pada Gambar 5. Sabuk ini dimaksudkan untuk diletakkan pada perut bagian atas yang kemudian dikombinasikan dengan *belt* dan *bagclip*. Sabuk bagian tengah ini berfungsi untuk menahan tulang rusuk 3, 4 dan 5 dimana tekanan ditumpukan pada bagian jantung dan paru-paru (Gambar 6). Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya gangguan jantung pada setiap prajurit.
3. Ruas–Ruas
Ruas–ruas terdiri dari tiga ruas, satu ruas dibagian atas dan dua ruas dibagian bawah. Detail ukuran dapat dilihat pada Gambar 7. Satu ruas dibagian atas bertujuan untuk menahan beban tekanan yang terdapat pada tulang rusuk sejati (*os. Costae vera*) dan dua ruas dibagian berfungsi untuk menahan tekanan berat pada tulang rusuk melayang (*os. Costae fluktuantes*) (lihat Gambar 8).
4. Ruas Penahan Atas
Ruas Penahan Atas merupakan bagian paling atas pada *artificial exoskeleton* yang berfungsi membantu tulang belikat (*os. Scavula*). Ukuran detail dapat dilihat pada Gambar 9. Tulang leher (*os. Vertebrae cervical*) dan tulang selangka (*os. cavicula*) menahan total berat tas ransel protap dan tas slempang *army* (Gambar 10).

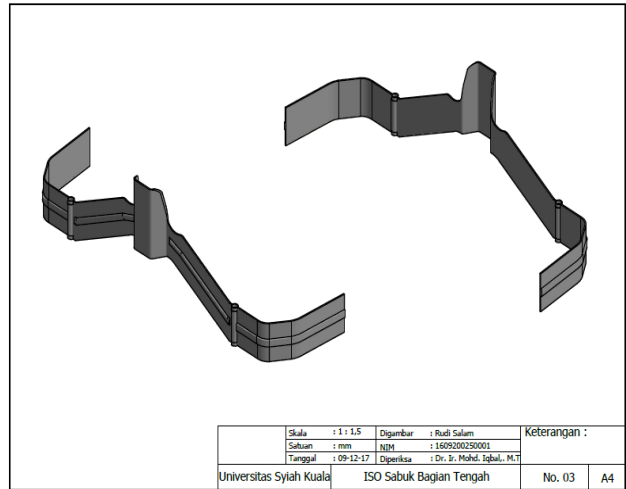
5. Poros Tulang Belakang

Poros tulang belakang (Gambar 11) merupakan tulang poros yang terletak tepat ditengah tulang belakang sebagai poros penahan. Poros ini berfungsi membantu sistem kerja tulang

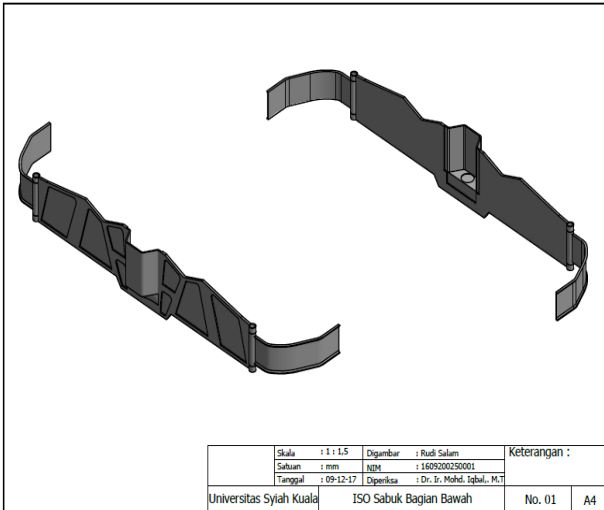
punggung (*os. Vertebrae thoracalis*), tulang kelangkang (*os. Vertebrae sacrum*), dan tulang ekor (*os. Vertebrae cocigeus*) tampilan detail gambar teknik dapat dilihat pada Gambar 12.



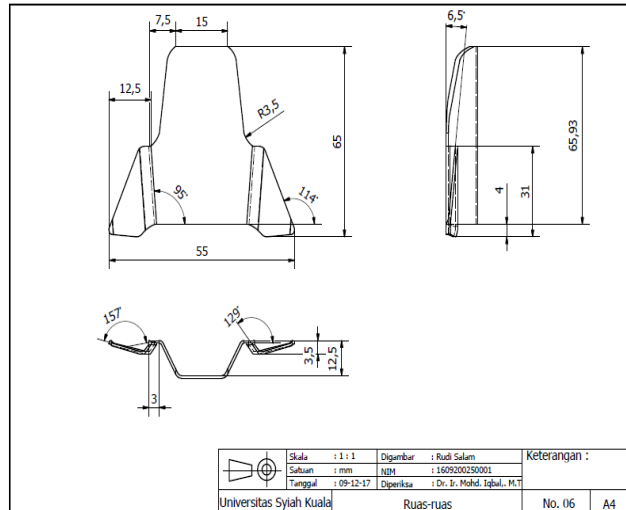
Gambar 3. Gambar 2D Sabuk Bagian Bawah



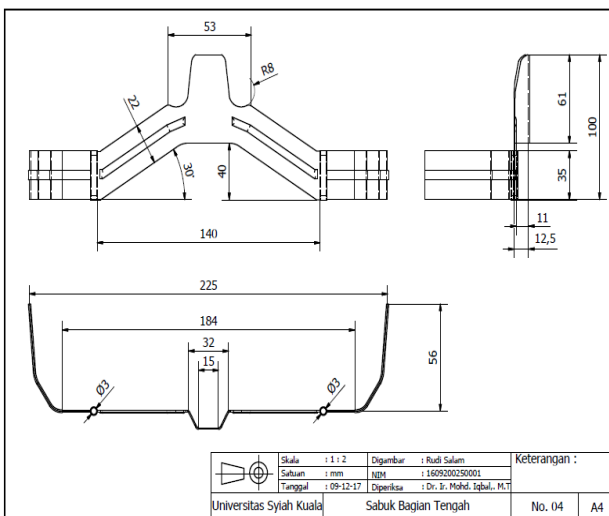
Gambar 6. Gambar 3D Sabuk Bagian Tengah



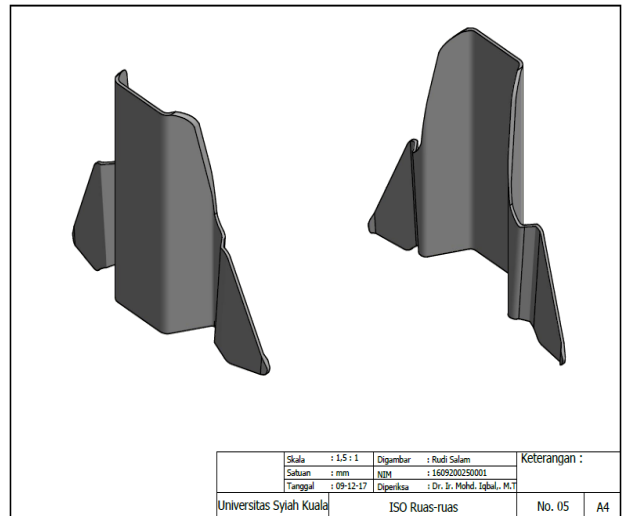
Gambar 4. Gambar 3D Sabuk Bagian Bawah



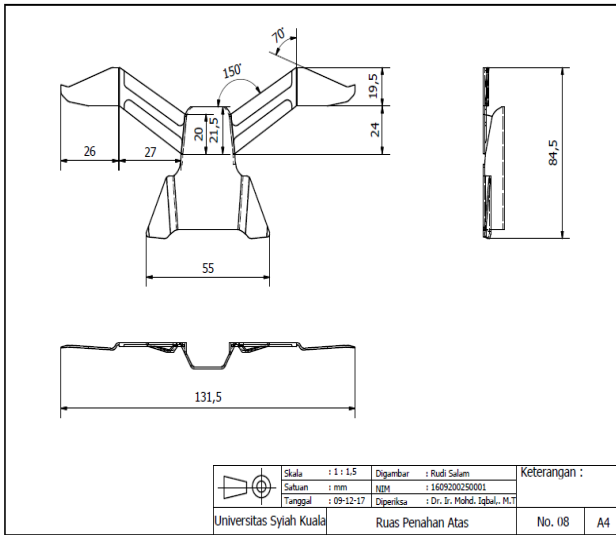
Gambar 7. Gambar 2D Ruas-Ruas



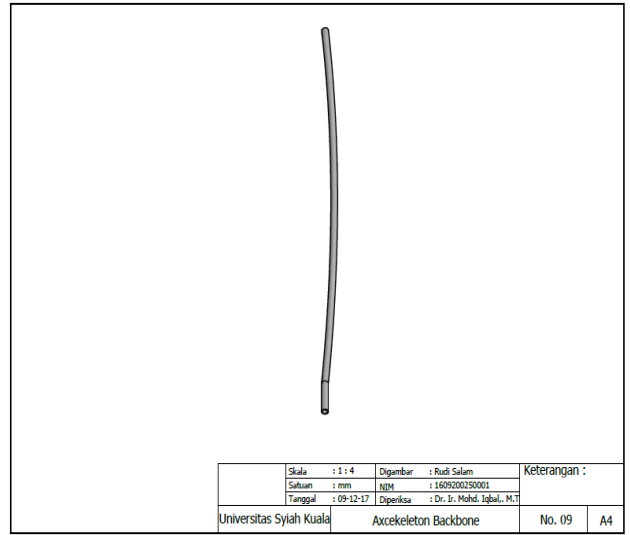
Gambar 5. Gambar 2D Sabuk Bagian Tengah



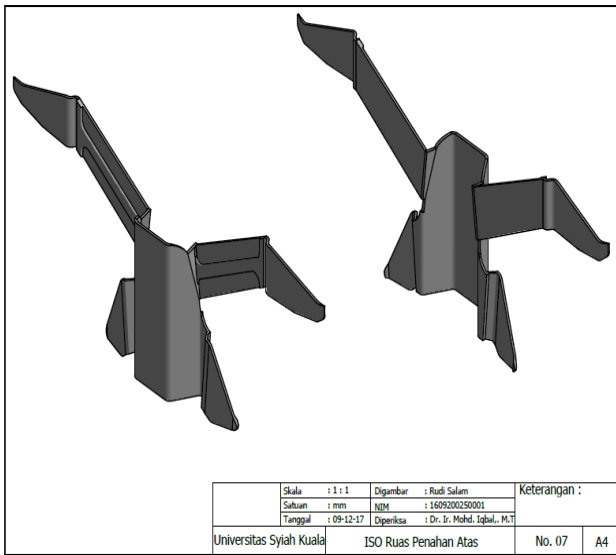
Gambar 8. Gambar 3D Ruas-Ruas



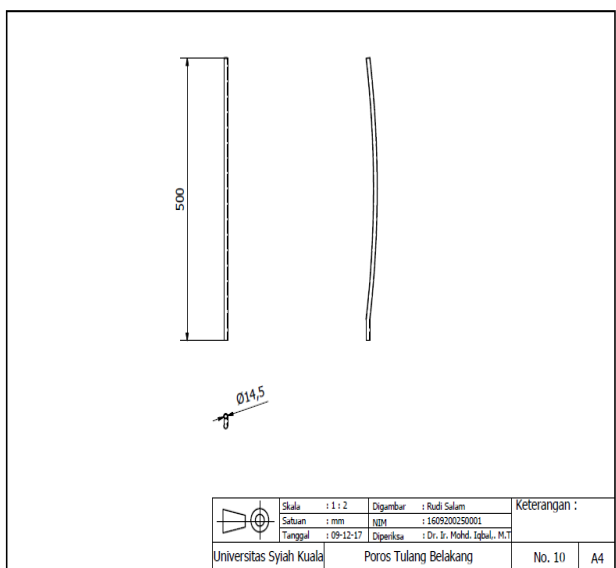
Gambar 9. Gambar 2D Ruas Penahan Atas



Gambar 12. Gambar 3D Ruas Penahan Atas



Gambar 10. Gambar 3D Ruas Penahan Atas



Gambar 11. Gambar 2D Ruas Penahan Atas

Beberapa akibat yang dapat ditimbulkan jika mengangkat beban pada punggung yang melebihi dari batas diantaranya [11]:

1. Dislokasi Bahu
 Dislokasi artinya perpindahan atau perubahan tempat. Sendi peluru pada bahu pada umumnya terdapat dalam pelindung yang kalau kita pegang berbentuk seperti mangkok. Hal ini menyebabkan sendi dapat digerakkan bebas ke segala arah. Namun kondisi ini mengakibatkan bahu posisinya tidak stabil. Sering terjadi dislokasi, perpindahan posisi bahu atau disebut dislokasi bahu.
2. Nyeri Punggung Bawah (*Low Back Pain*)
 Nyeri punggung bawah adalah sakit di bagian bawah tulang belakang atau punggung. Bagian belakang terdiri dari susunan tulang belakang, cakram antara vertebra, sumsum tulang belakang (fungsi saraf), otot, dan ligamen. Otot perut membantu mendukung tulang belakang. Trauma di daerah ini bisa menyebabkan rasa sakit. Rasa sakit bisa berlangsung beberapa hari atau kronis.
3. Osteoporosis
 Osteoporosis adalah suatu keadaan penyakit yang ditandai dengan rendahnya massa tulang dan memburuknya mikrostruktural jaringan tulang, menyebabkan kerapuhan tulang sehingga meningkatkan risiko terjadinya fraktur. Lokasi kejadian patah tulang osteoporosis yang paling sering terjadi adalah patah tulang vertebra (tulang punggung), tulang leher femur, dan tulang gelang tangan (patah tulang colles). Adapun frekuensi patah tulang leher femur adalah 20% dari total jumlah patah tulang osteoporosis.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini telah didapatkan faktor keluhan prajurit diantara faktor-faktornya yaitu sakit kaku di leher bagian atas, sakit kaku dibagian leher bagian bawah, sakit dibahu kiri, sakit dibahu kanan, sakit dipunggung, sakit pada pinggang, sakit pada bokong, dan sakit pada pantat. Berat beban selamat yang dapat diangkat oleh para prajurit TNI adalah 30.46 kg. Penelitian ini juga menghasilkan sebuah rancangan alat bantu berupa AE dengan dimensi tebal dada 23 cm, lebar dada 32 cm, dan panjang

punggung 52 cm. Rancangan ini dapat meningkatkan kemampuan membawa beban prajurit sebanyak 9% daripada berat beban angkat awal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sembiring. "Wawancara Subjek". Kesdam Iskandar Muda, Banda Aceh, 2017.
- [2] D. Paula, "The influence of load imposed by the backpack school in children and teens in Brazil". *Procedia Manufactur.*, vol. 3, pp. 5350-5357.
- [3] Helmi, *Buku Ajar Gangguan Muskuloskeletal*. Jakarta: Salemba Medika, pp. 56-75, 2011.
- [4] Hallo Sehat, "Mengenal Levoscoliosis, Kelainan Tulang Belakang yang ". diakses 16 Januari 2018 <https://hellosehat.com/?s=Penyakit+Tulang+Belakang/>, 2018.
- [5] M. Zare, J. Bodin, E. Cercier, R. Brunet, Y. Roquelaure. "Evaluation of ergonomic approach and musculoskeletal disorders in two different organizations in a truck assembly plant". *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 50, pp. 34-42, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.09.009>.
- [6] N.M Nur, S.Z. Dawal, M. Dahari. "The Prevalence of Work Related Musculoskeletal Disorders Among Workers Performing Industrial Repetitive Tasks in the Automotive Manufacturing Companies". In: *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Bali, Indonesia, January 7-9, 2014, 2014, pp. 1-8.
- [7] I. Mavis, A.A. Rahman, S.B.H.M Tamrin. "Ergonomics Risks Reduction: In Osh Certified and Uncertified automotive Parts Manufacturing Industry Workers". *Middle-East J. Sci. Res.*, vol. 22, no. 9, pp. 1272-1280, 2014.
- [8] Ismaila, "Safe Backpack Weight Limit for Secondary School Student in Ibadan", *Southwestern Nigeria. Alexandria Eng. J.* (in press), pp. 2-7, 2017.
- [9] S.A. Ferguson, W.S Marras, S.A Lavender, R.E Splittstoesser, and G. Yang, "Are Workers Who Leave a Job Exposed to Similar Physical Demands as Workers Who Develop Clinically Meaningful Declines in Low-Back Function?", *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 56, no. 1, pp. 56-72, 2014, <https://doi.org/10.1177/0018720813493116>.
- [10] W. Yu, T.S. Ignatius, Z. Li, X. Wang, T. Sun, H. Lin, et al. "Work-related injuries and musculoskeletal disorders among factory workers in a major city of China". *Accid. Anal. Prev.*, vol. 48, pp. 457-463, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.03.001>.
- [11] S.A. Lavender and W.S Marras, "The use of turnover rate as a passive surveillance indicator for potential low back disorders". *Ergonomics*, vol. 37, no. 6, pp. 971-978, 1994, <https://doi.org/10.1080/00140139408963710>.
- [12] R.A. Aziz, M.A.T. Rebi, A. Rani, J.M. Rohani. "Work-related Musculoskeletal Disorders among Assembly Workers in Malaysia". *J. Occup. Saf. Heal.*, vol. 11, no. 1, pp. 33-38, 2014.

NOMENKLATUR

TNI	Tentara Nasional Indonesia
AD	Angkatan Darat
AE	Artificial Exoskeleton
A	Eliptical Trunkle Area
l_f	Lebar dada.
l_s	Kedalaman dada
π	Pi (22/7)
X	Dimensi antropometri diperkenalkan ke dalam model penyusutan tinggi.
L	Panjang tulang belakang dari toraks pertama ke vertebra lumbar terakhir.
SH	Tinggi Bahu
u	Kecepatan pergerakan
E	Young Modulus of Elastisitas kartilago artikular
g	Gravitasi (9,81 m/s ²)
l	Panjang kaki
fn	Founde Number
	Berjalan normal dari pembawa ransel terjadi saat = 0,25 = (u ² /gL). [2].