

## RANCANG BANGUN ALAT PEMOTONG KABEL ROBOTIK TIPE WORM GEAR

**Estiko Rijanto**

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik (Telimek) LIPI  
Kompleks LIPI Gedung 20, Jl. Cisitua No.21/154D, Bandung 40135,  
Tel: 022-250-3055; Fax: 022-250-4773,  
Email: estiko@hotmail.com

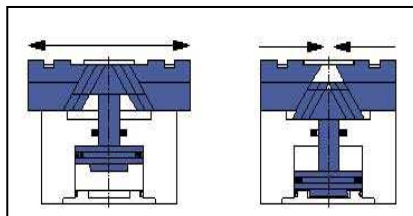
### ABSTRAK

Salah satu topik pada penelitian dan pengembangan robotika adalah end-effector yang dipasang pada ujung lengan robot. Sesuai aplikasinya end-effector yang selama ini umum digunakan berupa nozel untuk mengecat atau mengelas, kunci untuk membuka dan memasang baut, dan gripper untuk memegang, memindahkan, dan menempatkan objek. Tujuan penelitian ini adalah merancang bangun sebuah alat pemotong kabel listrik yang dipasang pada ujung lengan robot yang mampu memotong kabel listrik serabut dengan diameter 1.5 mm. Salah satu aplikasinya adalah untuk menjinakkan bom. Mekanisme pemotong tersusun oleh komponen utama sebagai berikut: 1) pisau pemotong 1 pasang (kiri, kanan), 2) lengan pisau 1 pasang (kiri, kanan), 3) poros sumbu putar lengan pisau 1 pasang (kiri, kanan), 4) roda gigi sumbu putar 1 pasang (kiri, kanan), 5) worm gear (gigi cacing) 1 buah, 6) motor listrik penggerak buka-tutup pisau 1 buah, dan 7) dudukan mekanisme pemotong. Gerakan memotong kabel listrik diwujudkan dengan memutar pisau pemotong kiri-kanan pada arah menutup dengan cara mengendalikan arah putar motor listrik ke arah menutup. Jika motor listrik diputar ke arah sebaliknya (yaitu membuka) maka pisau pemotong kiri-kanan bergerak ke arah membuka. Pada saat eksperimen pemotongan kabel diperoleh hasil: kabel berdiameter 1 mm terpotong, kabel berdiameter 1,5mm terpotong, dan kabel berdiameter 2mm tidak terpotong.

*Kata kunci:* alat pemotong kabel, robotik, worm gear.

### 1. Pendahuluan

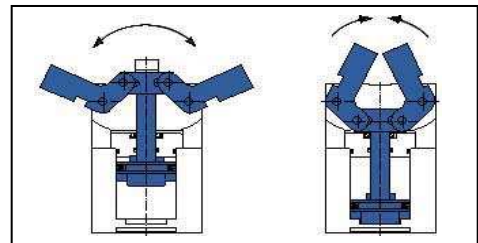
Seperti tangan manusia sebuah *gripper* mempunyai kemampuan untuk menahan, mengencangkan, memegang dan melepaskan sebuah benda. Secara garis besar terdapat 3 macam gerakan pada *gripper* yaitu paralel, bersudut dan togel. Ketiga gerakan ini mengacu pada gerakan lengan *gripper* terhadap badan *gripper* [1]. Gambar 1 menunjukkan sebuah ilustrasi *gripper* model paralel. Rahang bergerak secara paralel jika menempatkan badan sebagai acuan. Model ini mempunyai tingkat keakuratan yang lebih tinggi dibandingkan model yang lain.



Gambar 1. *Gripper* paralel.

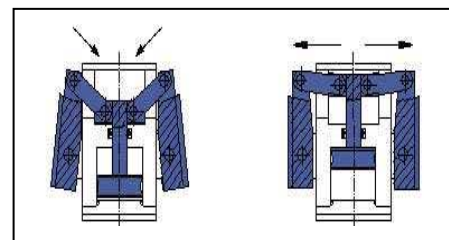
Gambar 2 menunjukkan sebuah ilustrasi dari model bersudut. Rahang *gripper* membuka dan menutup tepat pada sumbu dari poros *gripper*, gerakan yang terjadi dapat berupa gerakan sapuan ataupun gerakan mem-busur. *Gripper* dengan gerakan bersudut sering digunakan untuk tempat-tempat yang membutuhkan

ruang yang kecil.



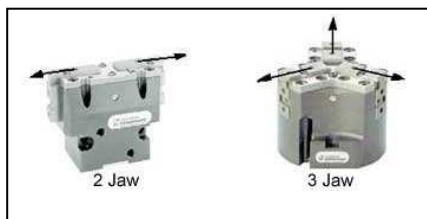
Gambar 2. *Gripper* bersudut.

Gambar 3 menunjukkan model dari *gripper* togel. *Gripper* jenis ini yang bergerak bukanlah rahang *gripper*, melainkan poros *gripper*. Poros akan bergerak secara naik turun sehingga rahang akan menjepit secara otomatis. Semakin jauh poros turun maka rahang akan menjepit semakin kuat.



Gambar 3. *Gripper* togel.

Untuk rahang *gripper* sendiri ada beberapa macam. Pada gambar 4 dapat dilihat 2 dari sekian banyak model dari rahang *gripper*, yakni *gripper* dengan 2 rahang dan *gripper* dengan 3 rahang. *Gripper* dengan 2 rahang merupakan model yang paling banyak digunakan. Kedua rahang akan bergerak secara bersamaan dengan acuan sumbu dari poros *gripper*. Model 2 rahang biasa digunakan untuk mengangkat dan dapat juga sebagai pemotong. Model ini juga digunakan untuk tempat-tempat yang memiliki ruang kerja yang sempit. *Gripper* dengan 3 rahang terdapat pada *gripper* model paralel dan model *toget*. Ketiga rahang dapat bergerak secara sendiri-sendiri atau secara bersamaan. Sehingga *gripper* dengan 3 rahang mempunyai keakuratan yang lebih dibandingkan dengan yang hanya mempunyai 2 rahang [2],[3].

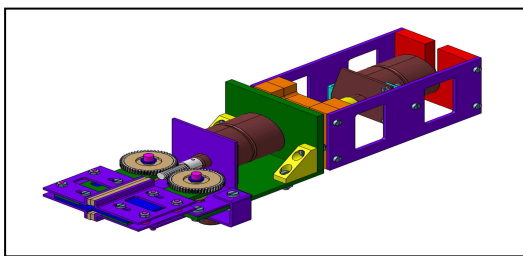


Gambar 4. *Gripper* dengan 2 dan 3 rahang

Tujuan penelitian ini adalah merancang bangun sebuah alat pemotong kabel listrik yang dipasang pada ujung lengan robot yang mampu memotong kabel listrik serabut dengan diameter 1.5 mm.

## 2. Konsep Perancangan

Pada penelitian ini alat pemotong kabel listrik dirancang menggunakan mekanisme worm-gear (gigi cacing). Konsep rancangan ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Konsep rancangan mekanisme alat potong

Alat pemotong kabel robotik yang dirancang bangun pada penelitian ini memiliki 2 derajat kebebasan dimana 1 derajat kebebasan pertama digunakan untuk menggerakkan pisau pemotong dan 1 derajat kebebasan yang ke dua digunakan untuk memutar badan mekanisme pemotong. Aktuator yang digunakan adalah 2 buah motor arus searah 24 V yang masing-masing dikendalikan oleh rangkaian pengendali dan rangkaian penggerak motor arus searah.

Mekanisme pemotong tersusun oleh komponen

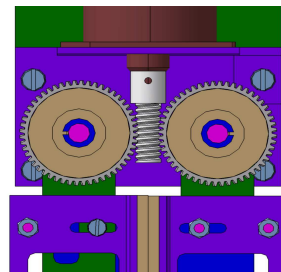
utama sebagai berikut: 1) pisau pemotong 1 pasang (kiri, kanan), 2) lengan pisau 1 pasang (kiri, kanan), 3) poros sumbu putar lengan pisau 1 pasang (kiri, kanan), 4) roda gigi sumbu putar 1 pasang (kiri, kanan), 5) *worm-gear* (gigi cacing) 1 buah, 6) motor listrik penggerak buka-tutup pisau 1 buah, dan 7) dudukan mekanisme pemotong. Gerakan memotong kabel listrik diwujudkan dengan memutar pisau pemotong kiri-kanan pada arah menutup dengan cara mengendalikan arah putar motor listrik ke arah menutup. Jika motor listrik diputar ke arah sebaliknya (yaitu membuka) maka pisau pemotong kiri-kanan bergerak ke arah membuka. Gerakan pemotong ini diusahakan bersifat menekan dan menggeser, sehingga kabel akan terpotong secara sempurna.

## 3. Perhitungan kekuatan pemotong

Gambar 6 menunjukkan *close up* mekanisme pemotong kabel listrik.

Sumber daya dari mekanisme pemotong kabel listrik pada penelitian ini adalah motor listrik arus searah DC Copal tipe: LC37G – 183VU. Pada pelat nama tertulis spesifikasi tegangan 24 V dan putaran 220 rpm. Dari hasil pengukuran didapat nilai tahanan listrik motor ini sebesar  $R = 62 \Omega$ , sehingga didapat daya listrik sebesar 9,12 Watt

Di bawah ini dihitung parameter-parameter mekanik yang digunakan untuk menentukan besar gaya potong [4],[5],[6].



Gambar 6. Mekanisme pemotong

Roda gigi miring memiliki jumlah gigi  $N_G = 52$  buah dan diameter kepala gigi miring  $d_{k2} = 32$  mm. Sedangkan roda gigi cacing (*worm gear*) memiliki jumlah gigi  $N_w = 1$  buah dan diameter kepala gigi cacing  $d_{k1} = 7$  mm. Rasio roda gigi adalah

$$M_G = \frac{N_G}{N_w} = \frac{52}{1} = 52.$$

Untuk roda gigi miring, panjang pitch  $m$ , diameter pitch  $d_G$ , dan panjang kisar  $p_x$  diberikan oleh persamaan berikut.

$$m = \frac{d_{k2}}{N_G + 2} \quad (1.1)$$

$$d_G = m \cdot N_G \quad (1.2)$$

$$p_x = \frac{\pi d_G}{N_G} \quad (1.3)$$

Dengan memakai nilai parameter di makalah ini diperoleh panjang pitch  $m = 0,59$  mm, diameter pitch  $d_G = 30,68$  mm, dan panjang kisar  $p_x = 1,84$  mm.

Untuk roda gigi cacing, panjang pitch  $a$  sama dengan panjang pitch roda gigi miring ( $a = m = 0,59$  mm). Sedangkan diameter pitch  $d_w$ , panjang kisar  $L$ , dan sudut kisar  $\lambda$  diberikan oleh persamaan berikut ini.

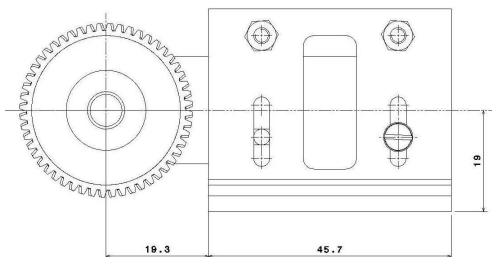
$$d_w = d_{k1} - 2a \quad (2.1)$$

$$L = p_x \cdot N_w \quad (2.2)$$

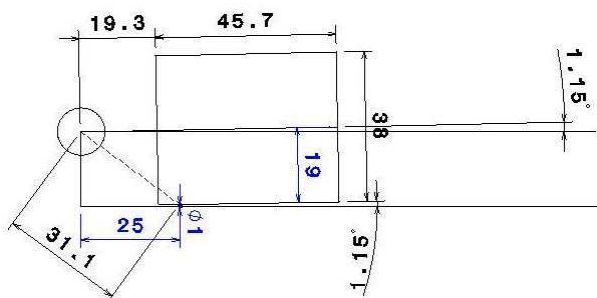
$$\lambda = \tan^{-1} \frac{L}{\pi \cdot d_w} \quad (2.3)$$

Dengan memakai nilai parameter di makalah ini diperoleh diameter pitch  $d_w = 5,82$  mm, panjang kisar  $L = 1,84$  mm dan sudut kisar  $\lambda = 5,7^\circ$ .

Gambar 7 menunjukkan pisau potong sebelah kiri yang dipasang pada lengan kiri. Lengan kiri dipasang pada roda gigi miring kiri yang berputar pada poros kiri. Daya mekanik dari gigi cacing disalurkan ke roda gigi miring kiri yang kemudian digunakan untuk membuka dan menutup pisau potong.



(a) Pisau potong sebelah kiri.



(b) Geometri pisau potong dan posisi kabel.

Gambar 7. Pisau potong sebelah kiri.

Pada saat kabel dipotong, kabel tercepit pisau potong kiri dan kanan sehingga diasumsikan posisi kabel berada pada sumbu  $x$ . Jarak antara garis poros pada badan pisau ke permukaan potong pisau  $L_1 = 19$  mm. Jika jarak antara titik tengah poros putar sampai ke titik potong kabel adalah  $L_2$  maka besar gaya potong pada kabel diberikan oleh persamaan di bawah ini.

$$F = \frac{W_x r}{L_2} \quad (3.1)$$

Dimana  $W_x$  adalah gaya efektif yang bekerja pada titik sentuh roda gigi miring dan roda gigi cacing, dan  $r$  adalah jari-jari efektif antara titik pusat poros potong dan titik sentuh roda gigi miring dan roda gigi cacing. Parameter-parameter yang diperlukan untuk menghitung gaya potong diberikan di bawah ini.

$$W_x = \frac{W_\lambda}{\cos \phi_n \cdot \sin \lambda + f \cdot \cos \lambda} \quad (4.1)$$

$$r = \frac{d_G + a_r}{2} \quad (4.2)$$

$$W_\lambda = \frac{P_m}{V_w} \quad (4.3)$$

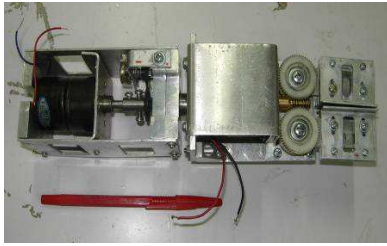
$$V_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{60} \quad (4.4)$$

Pada makalah ini koefisien gaya gesek  $f = 0,012$ ,  $\phi_n = 14,5^\circ$ , dan  $a_r = 0,58$ .  $P_m$  [Watt] adalah daya motor listrik yang digunakan,  $V_w$  [m/s] adalah kecepatan translasi tangensial pada titik sentuh antara roda gigi cacing dan roda gigi miring, dan  $n_w$  [rpm] adalah kecepatan rotasi gigi cacing. Dengan memasukkan semua nilai yang diketahui, diperoleh persamaan gaya potong di bawah ini dimana  $P_m$ ,  $n_w$  dan  $L_2$  sebagai variabel.

$$F = 489,71 \frac{P_m}{n_w \cdot L_2} \text{ [Newton]} \quad (5.1)$$

#### 4. Hasil Rancang Bangun

Gambar 8 menunjukkan hasil rancang bangun prototipe alat pemotong kabel listrik pada penelitian ini. Gambar 8 (a) menunjukkan alat pemotong kabel robotik yang telah dibuat, sedangkan gambar 8 (b) adalah photo mobil robot berlengan Morolipi dimana alat pemotong kabel robotik dipasang [7].



(a) Alat pemotong kabel robotik.

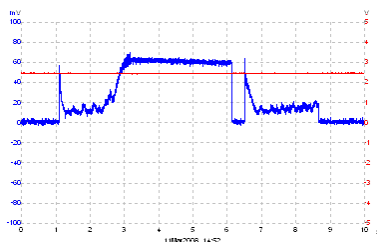


(b) Mobil robot Morolipi.

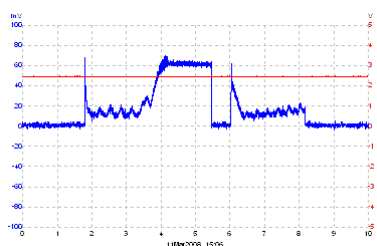
Gambar 8. Alat pemotong kabel robotik dan Morolipi.

## 5. Hasil Eksperimen dan Pembahasan.

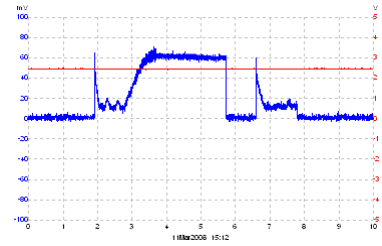
Gambar 9 menunjukkan hasil eksperimen pemotongan kabel berupa sinyal tegangan listrik (warna merah, tipis) dan arus listrik (warna biru, tebal) yang mengalir ke motor listrik pemotong kabel. Gambar 2 (a) adalah hasil saat pemotongan kabel berdiameter 1 mm, gambar 2 (b) untuk kabel berdiameter 1,5 mm, dan gambar 2 (c) untuk kabel berdiameter 2 mm.



(a) Kabel berdiameter 1 mm.



(b) Kabel berdiameter 1.5 mm.



(c) Kabel berdiameter 2 mm.

Gambar 9. Tegangan dan arus listrik saat eksperimen pemotongan kabel.

Sensor arus listrik yang digunakan memiliki konstanta pengali 0.1 Volt/Ampere, sedangkan sensor tegangan listrik yang digunakan memiliki konstanta pengali 0.1 Volt/Volt. Dari gambar hasil eksperimen di atas dapat dilihat bahwa tegangan listrik  $V_m$  terminal motor listrik adalah tetap yaitu sebesar 24 Volt. Sedangkan saat pisau bergerak ke arah menutup sebelum aksi memotong (gerak *dummy*), arus listrik  $I_m$  rata-rata yang mengalir ke motor listrik sebesar 0,15 Ampere dan kecepatan rotasi gigi cacing sebesar 3 rotasi per detik ( $n_w = 180$  rpm). Dari hasil eksperimen saat gerak *dummy* diperoleh persamaan berikut ini.

$$F \cdot L_2 = 489,71 \frac{24 \cdot 0,15}{180} = 9,79 \text{ [N.m]} \quad (6.1)$$

Sehingga diperoleh konstanta torsi motor listrik beserta roda gigi reduksi sebesar  $K_t = 65,29$  [N.m/A]. Arus listrik maksimal  $I_{\max}$  yang tercatat saat pisau memotong kabel sebesar 0,7 Ampere atau setara dengan  $\tau_{\max} = 45,71$  [N.m].

Pada saat eksperimen pemotongan kabel yang berdiameter 1 mm, jarak antara titik pusat poros putar pisau sampai titik sentuh pisau dan kabel adalah  $L_2 = 41$  mm. Maka diperoleh gaya potong sebesar  $F_{\max} = 1114,9$  [N]. Jika diasumsikan lebar permukaan pisau pemotong 0.1 mm maka luas maksimal permukaan sentuh antara pisau dan kabel adalah  $A_{\max} = 0.1$  mm<sup>2</sup>. Oleh karena itu diperoleh tegangan potong sebagai berikut.

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A_{\max}} = 11149 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (6.2)$$

Pada saat eksperimen pemotongan kabel berdiameter 1,5 mm, jarak antara titik pusat poros putar pisau sampai titik sentuh pisau dan kabel adalah  $L_2 = 31$  mm. Maka diperoleh gaya potong sebesar  $F_{\max} = 1474,5$  [N]. Jika diasumsikan lebar permukaan pisau pemotong 0.1 mm maka luas maksimal permukaan sentuh antara pisau dan kabel adalah  $A_{\max} = 0.15$  mm<sup>2</sup>. Oleh karena itu diperoleh tegangan potong sebagai berikut.

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A_{\max}} = 9\,830 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (6.3)$$

Saat dilakukan eksperimen pemotongan kabel berdiameter 1,5 mm dan kabel diletakkan pada posisi  $L_2 = 41$  mm, kabel tidak terpotong. Pada saat ini dari perhitungan diperoleh tegangan potong maksimal  $\sigma_{\max} = 7432,5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Pada saat eksperimen pemotongan kabel berdiameter 2 mm, kabel pada posisi  $L_2 = 31$  mm dan tidak terpotong. Dari perhitungan diperoleh tegangan potong maksimal sebesar  $\sigma_{\max} = 7372,6 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ .

Gambar 10 menunjukkan photo kabel hasil eksperimen pemotongan kabel. Pada gambar 10.(a) terlihat kabel berdiameter 1 mm (sebelah kiri) terpotong, kabel berdiameter 1,5mm (merah, tengah) terpotong, dan kabel berdiameter 2mm (paling kanan) tidak terpotong. Pada gambar 10.(b) ditunjukkan photo close up kabel 1,5mm yang terpotong sempurna dan kabel 2mm yang tidak terpotong sempurna.



(a) Kabel hasil eksperimen.



(b) Photo *close up* kabel 1,5 mm dan 2 mm.

Gambar 10. Hasil eksperimen pemotongan kabel.

## 6. Kesimpulan

Dari hasil eksperimen dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat potong kabel robotik yang telah dirancang bangun mampu memotong kabel serabut dengan diameter 1,5 mm atau kurang.
2. Kabel bisa terpotong jika diberikan tegangan potong sebesar  $9830 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  atau lebih.
3. Kabel tidak bisa terpotong jika diberikan tegangan potong sebesar  $7432,5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  atau kurang.

## Daftar Pustaka

1. [www.google.com](http://www.google.com), "Applied robotitc: tutorials on gripper and rotary actuator".
2. [www.google.com](http://www.google.com), keyword: gripper specification.
3. [www.google.com](http://www.google.com), keyword: industrial application robot gripper product.
4. Sularso dan Kiyokatsu Suga, Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin, PT.Pradnya Paramita, Jakarta, 1997.
5. Popov.E.P. dan Zainul Astamar, Mekanika teknik (Mechanics of materials), Edisi II, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1983.
6. Shigley, Joseph E, Larry D Mitchell dan Gandhi Harahap, Perencanaan teknik mesin, Edisi IV, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1984.
7. Estiko Rijanto, Dokumen mobil robot Morolipi, Puslit Telimek LIPI, Bandung, 2006.