

## Studi Gaya Pencabutan Ubi Kayu

Agus Haryanto<sup>1\*</sup>, Mochamad Zakky<sup>2</sup>, Budianto Lanya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Indonesia

<sup>2</sup>Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI), Indonesia

\*Email korespondensi: agus.haryanto@fp.unila.ac.id

### Info Artikel

Diajukan: 4 Juli 2021

Diterima: 3 Agustus 2022

Diterbitkan: 31 Agustus 2022

#### Keyword:

Cassava; plant height; root weight; soil moisture; stem circumference

#### Kata Kunci:

bobot umbi; kadar air tanah; tahanan penetrasi tanah; lingkaran batang; tinggi tanaman

### Abstract

Harvesting of cassava is still mostly done manually by pulling cassava stems that are ready to be harvested. This study aimed to determine the amount of force required to pull cassava stems. The research was conducted on farmer's land in Bandar Agung Village, Bandar Sakti District, Central Lampung Regency. A sample of 50 cassava trees was selected to represent the center and four edges of 1-ha area sizing of 50-m x 200-m. Measurement of the pulling force of cassava was carried out using a winch supported by a triangular frame of iron pipe and equipped with a 100-kg chicken scale and rope. Parameters included force to uproot cassava stem, soil moisture content, soil hardness, stem circumference, plant height, and cassava tuber weight. The results showed that the uprooting force of cassava stem ranged from 20 kg (196 N) to 70 kg (686 N) with an average of 44.9 kg (440.2 N). The results also showed that the pulling force of cassava decreased with increasing soil moisture content with a range between 196 kN at soil moisture 15,9% and 686 kN at soil moisture 10%. Factors of plant height, stem circumference, and tuber weight also had a positive effect on the pulling force of cassava

### Abstrak

Pemanenan singkong masih banyak dilakukan secara manual dengan menarik atau mencabut batang ubi kayu yang sudah siap panen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya gaya yang diperlukan untuk mencabut batang ubi kayu. Penelitian dilakukan di lahan petani di Desa Bandar Agung, Kecamatan Bandar Sakti, Lampung Tengah. Sampel ubi kayu sebanyak 50 pohon dipilih untuk mewakili bagian tengah dan empat pinggir pada tanah seluas satu hektar berukuran panjang 200 m dan lebar 50 m. Pengukuran gaya pencabutan ubi kayu dilakukan menggunakan kerekan yang ditopang rangka kaki tiga dari pipa besi dan dilengkapi dengan timbangan ayam 100 kg dan tali. Parameter yang diamati meliputi gaya pencabutan batang ubi kayu, kadar air tanah, tahanan penetrasi tanah (soil penetration resistance), lingkaran batang, tinggi tanaman, berat umbi singkong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya pencabutan ubi kayu berkisar dari 20 kg (196 N) hingga 70 kg (686 N). Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa gaya pencabutan ubi kayu naik dengan turunnya kadar air tanah dengan kisaran 196 kN pada kadar air tanah 15,9% hingga 686 kN pada kadar air tanah 10%. Faktor tinggi tanaman, lingkaran batang, dan bobot umbi juga berpengaruh positif terhadap kenaikan gaya pencabutan ubi kayu.

Doi: <https://doi.org/10.19028/jtep.10.2.77-86>

### 1. Pendahuluan

Ubi kayu atau ketela pohon atau singkong (*Manihot esculinta* Crantz.) merupakan salah satu komoditi pertanian lahan kering yang penting dan menjadi andalan di Lampung (Fitriani *et al.*, 2018; Sagala dan Suwanto, 2017). Sejak lama Lampung telah menjadi sentra produksi ubi kayu terbesar di Indonesia. Ubi kayu merupakan salah satu tanaman yang tahan terhadap kondisi kekurangan air (Okogbenin *et al.*, 2013)

sehingga sangat sesuai dengan kondisi lahan pertanian di Lampung yang mengandalkan lahan kering. Dalam lima tahun terakhir Lampung menjadi penghasil singkong terbesar di Indonesia. Meskipun menunjukkan kecenderungan yang menurun, produksi singkong Lampung masih yang terbesar secara nasional. Menurut Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, pada tahun 2018 produksi singkong Lampung masih menembus angka 5,02 juta ton yang berarti kontribusi 31,12% terhadap produksi ubi kayu Indonesia 16,12 ton (Pusat Data dan Informasi Pertanian, 2020).

Pemanenan merupakan salah satu tahap yang penting dalam budidaya ubi kayu dan yang paling banyak menghabiskan biaya (Addy *et al.*, 2004; Amponsah *et al.*, 2014a). Umur pemanenan tidak hanya menentukan produktivitas, tetapi juga kadar pati (Baafi dan Safo-Kantanka, 2007; Lessa *et al.*, 2019; Sagrilo *et al.*, 2003). Umumnya ubi kayu dipanen pada umur 10 sampai 12 bulan dan dipengaruhi oleh varietas tanaman. Tetapi jika kadar pati yang diutamakan, maka umur panen yang baik adalah 8 sampai 10 bulan. Selain umur, cara pemanenan juga mempengaruhi kualitas ubi kayu. Pemanenan secara semi mekanis memberikan keuntungan baik dari segi biaya maupun kualitas ubi kayu (Patiño *et al.*, 2012).

Di Indonesia, pada umumnya, pemanenan dilakukan secara manual dengan mencabut batang ubi kayu. Peralatan ungkit sederhana sering digunakan untuk memudahkan pencabutan. Pemanenan ini memerlukan tenaga kerja antara 23–47 hari kerja orang pria (HKOP) per hektar (Amponsah *et al.*, 2018). Di Malaysia dilaporkan kebutuhan tenaga kerja pemanenan ubi kayu secara manual adalah 50 HKOP untuk produksi 30 t/ha (Akhir and Sukra 2002). Perusahaan singkong di Indonesia menetapkan standar untuk pekerjaan pemanenan ubi kayu adalah 2 ton per hari orang kerja (Sagala dan Suwanto, 2017). Kekurangan lain dari pemanenan secara manual adalah tingginya umbi yang rusak (Amponsah *et al.*, 2014a). Meskipun memberikan beberapa keuntungan (dari segi biaya maupun kualitas ubi kayu (Patiño *et al.*, 2012), pemanenan dengan mesin modern belum dikembangkan, terutama pada tingkat petani dengan luas garapan sempit.

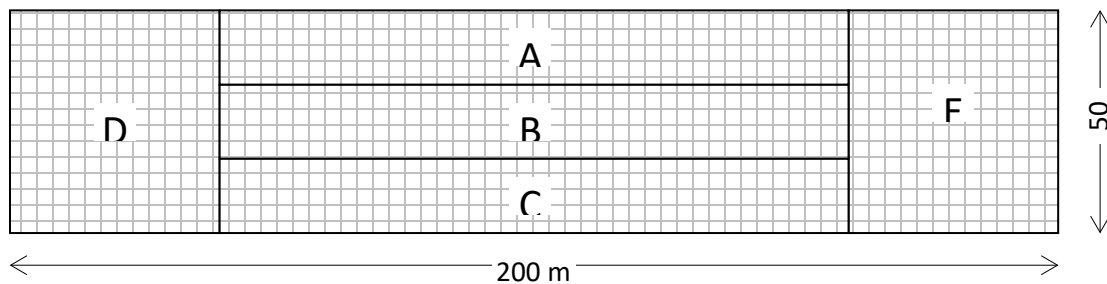
Di Afrika, kurangnya alat pemanen komersial untuk ubi kayu telah memicu kurang efisiennya pabrik pengolah ubi kayu yang berkembang cepat. Dalam merancang bangun alat pemanen ubi kayu, kebutuhan gaya untuk mencabut sangatlah penting (Agbetoye *et al.*, 2000). Dari seluruh proses yang terlibat dalam pemanenan ubi kayu, pelonggaran tanah dan pengangkatan ubi merupakan fungsi yang sangat penting.

Untuk mencapai pemanenan yang efisien, data besarnya gaya untuk mencabut ubi kayu pada kondisi tanah dan tanaman tertentu sangat diperlukan. Dalam proses pencabutan ubi kayu, tanah yang menutupi umbi bergerak bersama-sama ke atas membentuk formasi menyerupai pot atau kerucut terbalik. Wang *et al.* (2011) memerinci komponen gaya tarik ( $F$ ) untuk mencabut batang singkong yang terdiri dari gaya gravitasi ( $G$ ) akibat bobot umbi, batang, dan tanah yang menutupi umbi, gaya akibat tahanan tanah ( $R$ ), gaya gesekan antara tanah dan umbi ( $F_f$ ), gaya gesekan (*shear force*) antar partikel tanah ( $F_t$ ), gaya inersia tanah ( $F_a$ , dapat diabaikan karena percepatan pengangkatan tanah yang rendah), dan gaya adsorpsi tanah ( $F_s$ ) ketika tanah ditarik ke atas (Wang *et al.*, 2011).

Gaya yang diperlukan untuk mencabut ubi kayu (dan bahan biologis lainnya) dipengaruhi oleh faktor-faktor tanah seperti kadar air tanah, kohesi, dan sudut tahanan internal. Faktor-faktor tanaman seperti geometri ubi di dalam tanah, besar ubi, diameter batang, dan tinggi tanaman diduga mempengaruhi besarnya gaya tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh sifat fisik dan mekanik tanah, serta karakteristik fisik ubi kayu terhadap gaya yang diperlukan untuk mencabut ubi kayu.

**2. Metode Penelitian**

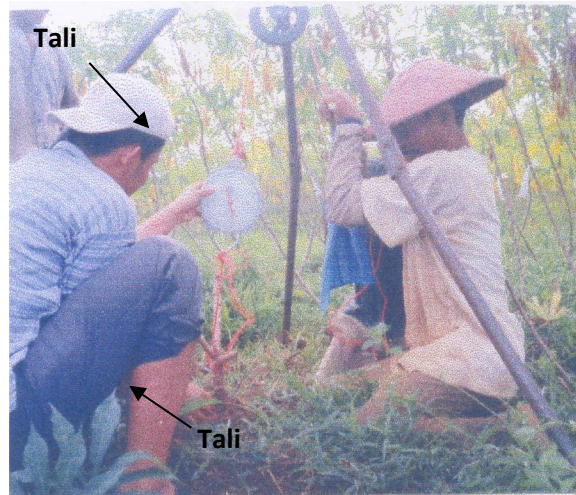
Penelitian dilakukan di lahan milik seorang petani di Desa Bandar Agung, Terbanggi Besar, Lampung Tengah. Varietas ubi kayu adalah Adira I yang berumur 9 bulan dan siap dipanen. Tanah berjenis podsolik merah kuning memiliki tekstur sandy loam dengan kandungan pasir 61,9%, debu 14,6% dan liat 23,4%. Kondisi permukaan tanah sebagian besar ditumbuhi gulma merambat berdaun lebar (*Cleome nodiflora*) dan rumput-rumputan (*Echinochloa colonum*). Sebelum pengukuran gaya pencabutan ubi kayu, tahanan penetrasi tanah (*soil penetration resistance*) di sekitar tanaman diukur menggunakan cone penetrometer dengan luas cone satu cm<sup>2</sup> dan kapasitas pengukuran hingga 1000 N/cm<sup>2</sup>. Segera setelah pengukuran gaya pencabutan ubi kayu, sampel tanah diambil untuk diukur kadar airnya. Kadar air diukur menggunakan oven (Memmert UN55) yang dioperasikan pada suhu 105 °C selama 24 jam. Sampel tanah juga dikirim ke Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, untuk dianalisis teksturnya.



**Gambar 1.** Skema lahan untuk pengambilan sampel di lapangan

Untuk memperoleh sampel tanaman yang mewakili semua petak, pada lahan satu ha berukuran 200 m × 50 m dibagi menjadi 5 bagian A, B, C, D, E (Gambar 1). Pada tiap bagian diambil 10 tanaman secara acak. Panjang batang diukur dari permukaan tanah sampai ke bagian pucuk batang, sedangkan lingkaran batang diukur pada ketinggian kurang lebih 10 cm dari permukaan tanah pada bagian tanpa mata (*node*). Setelah dicabut, umbi dipotong dari pangkalnya dan ditimbang bobotnya. Gaya untuk mencabut ubi kayu diukur dengan mengikatkan timbangan gantung tipe pegas berkapasitas 100 kg yang ditopang rangka kaki tiga dari pipa besi dilengkapi dengan kerekan dan tali seperti terlihat pada Gambar 2. Data yang diperoleh dianalisis secara grafis untuk mencari hubungan antara sifat fisik-mekanik tanah dan

karakteristik fisik ubi kayu dengan besarnya gaya pencabutan ubi kayu.



**Gambar 2.** Pengukuran gaya pencabutan ubi kayu dengan timbangan ayam 100 kg.

### 3. Hasil dan Pembahasan

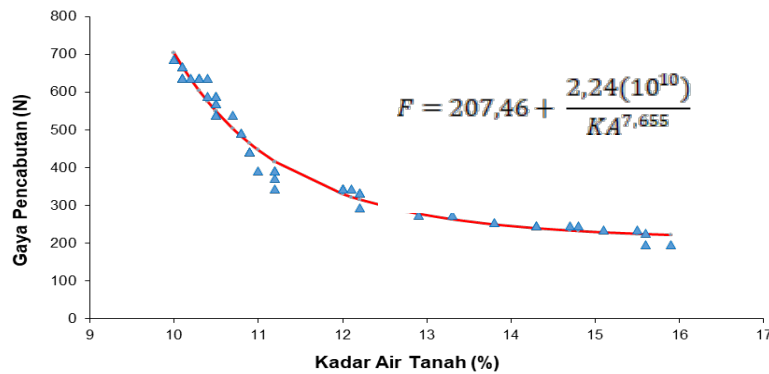
#### 3.1 Pengaruh Kadar Air Tanah

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ubi kayu memiliki karakteristik: tinggi tanaman berkisar antara 100 hingga 188 cm (rata-rata 143,7 cm), lingkaran batang berkisar antara 5,2 hingga 8,2 cm (rata-rata 6,3 cm), dan bobot umbi per batang berkisar antara 0,5 hingga 3,5 kg (rata-rata 2,1 kg). Besarnya gaya yang diperlukan untuk mencabut ubi kayu berkisar antara 20 kg atau 196 N hingga 70 kg hingga 686 N (rata-rata 44,9 kg atau 440,2 N). Hasil ini jauh lebih rendah dari gaya pencabutan ubi kayu di Afrika yang mencapai 86,8 hingga 143,3 kg (Amponsah et al., 2017). Perbedaan yang sangat jauh ini salah satunya disebabkan oleh bobot umbi per pohon di Afrika yang jauh lebih besar, mencapai 5.84 – 13.14 kg yang berarti 3,75 kali bobot umbi di Lampung. Faktor lain adalah kondisi tanah di Afrika yang secara umum lebih kering daripada tanah di Indonesia. Hal ini mengisyaratkan perlunya alat bantu seperti pengungkit untuk memudahkan pencabutan ubi kayu karena rata-rata manusia hanya mampu mengangkat beban hingga 600 N (Akinwonmi dan Andoh 2013). Desain alat bantu panen singkong yang sangat sederhana bisa dibuat secara lokal terdiri dari potongan pipa besi dilengkapi pengait berbentuk “V” yang diikatkan (dimasukkan) pada batang pengungkit (Chalachai et al., 2013).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air tanah berpengaruh negatif terhadap gaya pencabutan ubi kayu. Pada tanah yang kering dengan kadar air sekitar 10%, gaya pencabutan ubi kayu mencapai 600-700 N. Makin tinggi kadar air tanah, gaya pencabutan ubi kayu semakin turun hingga mencapai konstan sekitar 200-250 N ketika kadar air tanah mencapai 15-16%. Selain mengurangi tanahan penetrasi tanah, air di dalam tanah juga berfungsi sebagai pelumas di antara partikel-partikel tanah (Shaxson dan Barber 2003). Tanah yang lembab memiliki tingkat tanahan penetrasi yang rendah sehingga mudah dihancurkan

atau didesak oleh benda lain (umbi singkong). Peningkatan kadar air akan mengakibatkan penurunan tahanan geser dan gaya kohesi tanah serta meningkatkan kompresibilitas tanah (Pezowicz dan Choma-Moryl, 2015). Hal ini terjadi karena peningkatan kadar air menyebabkan tanah lebih mudah tergelincir dan selanjutnya melunakkan ikatan tanah. Gambar 3 memperlihatkan hubungan yang sangat erat ( $R^2 = 0,9740$ ) antara gaya pencabutan batang ubi kayu ( $F$ ) dan kadar air tanah ( $KA$ ) yang dapat disajikan dalam fungsi power:

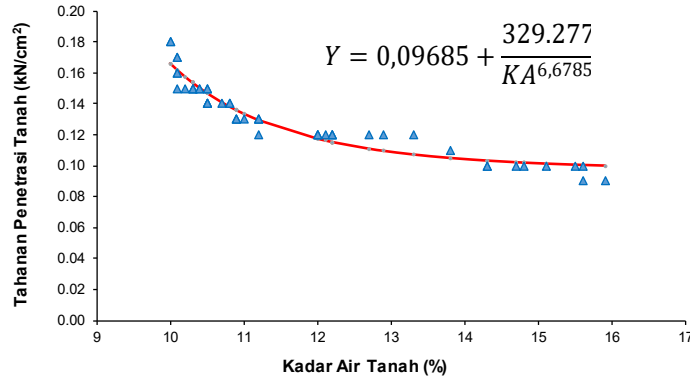
$$F = 207,46 + \frac{2,24(10^{10})}{KA^{7,655}} \tag{1}$$



**Gambar 3.** Hubungan antara kadar air tanah dan gaya pencabutan ubi kayu.

Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa pada saat pengukuran gaya pencabutan ubi kayu, kadar air tanah berkisar antara 10,0 hingga 15,9% (rata-rata 11,8 %) dan tahanan penetrasi tanah 0,2 kN/cm<sup>2</sup> pada kisaran 0,09 hingga 0,18 kN/cm<sup>2</sup>. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar air tanah berhubungan erat dengan tahanan penetrasi tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pada kondisi kering ( $KA$  10%), tanah memiliki tahanan penetrasi hingga 0,18 kN/cm<sup>2</sup> lalu turun seiring dengan kenaikan kadar air hingga nilai konstan sekitar 0,10 kN/cm<sup>2</sup> setelah kadar air mencapai 15%. Hubungan antara kadar air tanah dengan tahanan penetrasi tanah ( $Y$ ) juga dapat disajikan dengan baik sebagai fungsi power (Persamaan 2) dengan nilai  $R^2 = 0,9243$ .

$$Y = 0,09685 + \frac{329.277}{KA^{6,6785}} \tag{2}$$



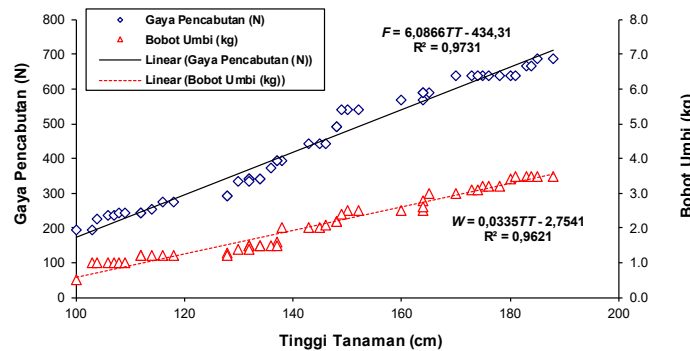
**Gambar 4.** Hubungan antara kadar air tanah dengan tahanan penetrasi tanah

3.2 Pengaruh Parameter Tanaman

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa ketiga parameter tanaman (tinggi tanaman, lingkaran batang, bobot umbi) berpengaruh positif terhadap besarnya gaya untuk mencabut ubi kayu. Ubi kayu tersusun dari batang dan umbi. Dalam proses pencabutan ubi kayu, batang dan umbi beserta tanah yang menutupi formasi umbi akan terangkat bersama-sama ke atas dan memberikan efek gaya gravitasi (Wang *et al.*, 2011). Hubungan antara tinggi tanaman (*TT*) dan gaya pencabutan (*F*) membentuk persamaan linear sebagai:

$$F = 6,09 TT - 434,31 \tag{3}$$

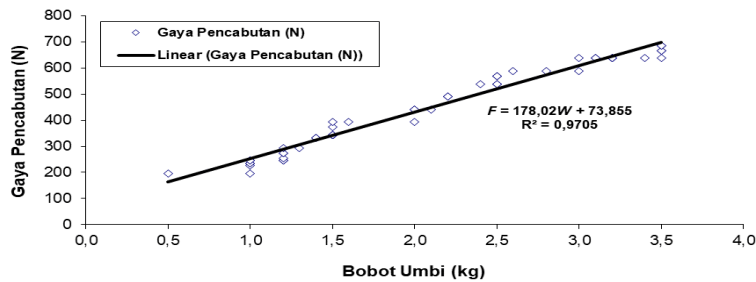
Seperti terlihat pada Gambar 5, pengaruh tinggi tanaman terhadap gaya pencabutan ubi kayu sangat berkaitan pengaruhnya terhadap bobot umbi yang dihasilkan. Hal ini diduga berkaitan dengan kemampuan tanaman melakukan fotosintesis. Tanaman yang tinggi, selain indeks luas daun yang lebih besar, tanaman yang lebih tinggi tidak terhalang dalam menerima cahaya matahari sehingga memiliki kesempatan melakukan fotosintesis lebih besar. Makin intensif suatu tanaman melakukan fotosintesis berarti makin besar potensinya dalam menghasilkan pati yang tersimpan dalam bentuk umbi.



**Gambar 5.** Hubungan antara tinggi tanaman dengan bobot umbi dan gaya pencabutan.

Gambar 6 memperlihatkan hubungan linear antara bobot umbi ubi kayu ( $W$ ) terhadap gaya pencabutan batang ubi kayu. Bobot umbi, selain berkaitan langsung dengan gaya berat (gravitasi), juga berkaitan dengan massa tanah yang menutupi formasi umbi dan gaya gesekan antara epitaksial umbi dengan partikel tanah (Wang *et al.*, 2011). Makin besar umbi berarti makin besar gaya gravitasi dan makin luas permukaan kontak antara umbi dengan partikel tanah sehingga makin besar gaya total untuk pencabutan ubi kayu. Karena gaya gesekan merupakan fungsi dari koefisien gesek dan luas permukaan kontak, maka jelas bahwa makin besar luas permukaan kontak makin besar gaya gesekan antara partikel tanah dengan permukaan umbi. Hubungan linear antara bobot umbi ( $W$ ) dan gaya pencabutan ubi kayu ( $F$ ) disajikan oleh Persamaan (4) dengan nilai  $R^2$  yang tinggi (0,9705).

$$F = 178,02W + 73,855 \tag{4}$$

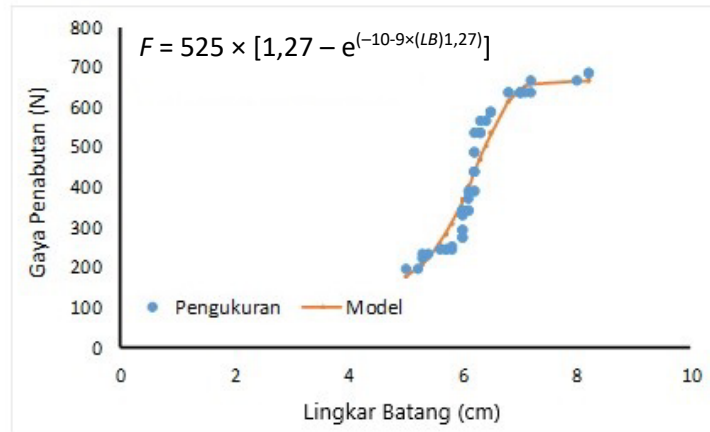


**Gambar 6.** Hubungan antara bobot umbi dengan gaya pencabutan ubi kayu

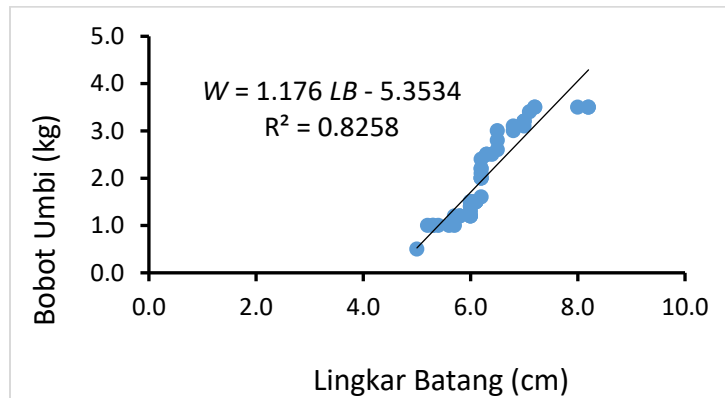
Hasil penelitian di Kerala (India) menyimpulkan bahwa peningkatan ukuran (diameter) umbi, kedalaman umbi, jumlah umbi berdampak positif terhadap gaya yang diperlukan untuk mencabut ubi kayu (Amponsah *et al.*, 2014b). Hubungan antara umbi dengan gaya untuk mencabut ubi kayu sesungguhnya sangat kompleks karena tidak hanya berkaitan dengan bobot umbi, tetapi juga melibatkan geometri dan orientasi umbi di dalam tanah. Geometri dan orientasi umbi berkaitan dengan kedalaman umbi dan banyaknya tanah yang menjepit umbi. Diameter formasi umbi dan kedalamannya merupakan faktor yang paling mempengaruhi gaya pencabutan ubi kayu (Wang *et al.*, 2011). Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji hubungan antara geometri dan orientasi umbi terhadap gaya untuk mencabut ubi kayu.

Gambar 7 memperlihatkan hubungan antara lingkaran batang ( $LB$ ) dengan gaya pencabutan ubi kayu. Kurva ini memperlihatkan pengaruh yang lambat di sekitar lingkaran batang 5-6 cm dan 7-8 cm. Efek yang tajam dari lingkaran batang terhadap gaya pencabutan ubi kayu terjadi pada  $LB$  6-7 cm. Hal ini ada hubungannya dengan perilaku pertumbuhan organisme hidup yang diawali dengan fase pertumbuhan lambat (*lag phase*), disusul dengan pertumbuhan maksimum (*log phase*), lalu diakhiri dengan pertumbuhan yang menurun (*stationary phase*) (Lamp1, 2012). Hasil penelitian kami mengenai hubungan antara lingkaran batang dan gaya pencabutan ubi kayu membentuk kurva eksponensial yang dapat disajikan melalui Persamaan (5).

$$F = 525 \times (1,27 - \exp[(-10^{-9} \times (LB)^{1,27})]) \tag{5}$$



Gambar 7. Hubungan antara lingkar batang dengan gaya pencabutan ubi kayu



Gambar 8. Hubungan antara lingkar batang dengan bobot umbi ubi kayu

Pengaruh lingkar batang terhadap bobot umbi ( $W$ ) yang dihasilkan juga memiliki pola yang sangat mirip, tetapi lebih linear seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Bobot umbi meningkat seiring dengan makin besarnya lingkar batang. Hubungan linear antara lingkar batang terhadap bobot umbi singkong disajikan oleh Persamaan (6) dengan nilai  $R^2$  0,8258.

$$W = 1,176 LB - 5.3534 \tag{6}$$

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan, disimpulkan bahwa gaya yang diperlukan untuk mencabut ubi kayu pada saat pemanenan bervariasi dari 20 kg (196 N) hingga 70 kg (686 N) dengan nilai rata-rata 44,9 kg (440,2 N). Gaya pencabutan ubi kayu menurun seiring dengan naiknya kadar air tanah yang disajikan sebagai fungsi power  $F = 207,46 + 2,24(10^{10})/(KA^{7,655})$  dengan  $R^2 = 0,9740$ . Parameter tinggi tanaman dan bobot umbi berkaitan erat secara linear dengan gaya yang diperlukan untuk mencabut ubi kayu dan dapat dinyatakan melalui persamaan  $F = 6,09 TT - 434,31$  dengan  $R = 0,9731$  dan  $F = 178,02 W + 78,85$  dengan  $R = 0,9705$ .



Pengaruh lingkaran batang terhadap gaya pencabutan ubi kayu mengikuti kurva pertumbuhan sigmoid dalam bentuk  $F = 525 \times (1,27 - \exp[(-10^{-9} \times (LB)^{1,27})])$  dengan  $R^2 = 0,9217$ .

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak dan Ibu Bambang di Desa Bandar Agung, Kecamatan Bandar Sakti, Lampung Tengah yang telah mengizinkan lahannya untuk penelitian ini.

### 5. Daftar Pustaka

- Addy, P.S., I.N. Kashaija, M.T. Moyo, N.K. Quynh, S. Singh & P.N. Walekhwa. (2004). *Constraints and Opportunities for Small and Medium Scale Processing of Cassava in the Ashanti and Brong Ahafo Regions of Ghana*. Wageningen, The Netherlands: International Centre for Development Oriented Research in Agriculture.
- Agbetoye, L.A.S., J. Dyson & J. Kilgour. (2000). Prediction of the lifting forces for cassava harvesting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75(1), 39–48. <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0483>.
- Akhir, H.Md. & A.B. Sukra. (2002). Mechanization possibility of cassava production in Malaysia. In *The 7<sup>th</sup> Regional Cassava Workshop*, 271–276. Bangkok, Thailand: Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2735.1522> (2021 /7/1)
- Akinwonmi, A.S. & F. Andoh. (2013). Design of a cassava uprooting device. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 5(2), 411–420. <https://doi.org/10.19026/rjaset.5.4967>.
- Amponsah, S.K., A. Addo & B. Gangadharan. (2018). Review of various harvesting options for cassava. In *Cassava*, ed. V. Waisundara, London, U.K.: InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71350>
- Amponsah, S.K., E.Y.H. Bobobee, W.A. Agyare, J.B. Okyere, J. Aveyire, S.R. King & J. Sarkodie-Addo. (2014a). Mechanical cassava harvesting as influenced by seedbed preparation and cassava variety. *Applied Engineering in Agriculture*, 30(3), 391–403. <https://doi.org/10.13031/aea.30.10495>.
- Amponsah, S.K., J.T. Sheriff & G. Byju. (2014b). Comparative evaluation of manual cassava harvesting techniques in Kerala, India. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(2), 41–52.
- Amponsah, S.K., J.N. Berchie, J. Manu-Aduening, E.O. Danquah, J.O. Adu, Agyeman & E. Bessah. (2017). Performance of an improved manual cassava harvesting tool as influenced by planting position and cassava variety. *African Journal of Agricultural Research*, 12(5), 309–319. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11874>.
- Baafi, E. & O. Safo-Kantanka. (2007). Effect of genotype, age and location on cassava starch yield and quality. *Journal of Agronomy*, 6(4), 581–585. <https://doi.org/10.3923/ja.2007.581.585>.
- Chalachai, S., P. Soni, A. Chamsing & V.M. Salokhe. (2013). A critical review of mechanization in cassava harvesting in Thailand. *International Agricultural Engineering Journal*, 22(4), 81–93.
- Fitriani, B. Unteawati, Z. Mutaqin, & Sutarni. (2018). The mapping of agroindustry based on cassava. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 209: 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/209/1/012019>.

- Lampl, M. (2012). Perspectives on modelling human growth: Mathematical models and growth biology. *Annals of Human Biology*, 39(5), 342–351. <https://doi.org/10.3109/03014460.2012.704072>.
- Lessa, L.S., C.A.S. Ledo & V.S. Santos. (2019). Effect of harvesting times on agronomic characteristics of industrial cassava genotypes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 14(2), 1–6. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5647>.
- Okogbenin, E., T.L. Setter, M. Ferguson, R. Mutegi, H. Ceballos, B. Olanmi & M. Fregene. (2013). Phenotypic approaches to drought in cassava: Review. *Frontiers in Physiology* 4. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00093>
- Patiño, B.O., L.F. Cadavid, M. García & C. Alcalde. (2012). Mechanized systems for planting and harvesting cassava (*Manihot esculenta* Crantz). In *Cassava in the Third Millennium: Modern Production, Processing, Use and Marketing Systems*, eds. B. Ospina & H. Ceballos, Cali, Colombia: CIAT.
- Pezowicz, P. & K. Choma-Moryl. (2015). Moisture content impact on mechanical properties of selected cohesive soils from the Wielkopolskie Voivodeship Southern Part. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 37(4), 37–46. <https://doi.org/10.1515/sgem-2015-0043>.
- Pusat Data dan Informasi Pertanian. (2020). *Statistik pertanian 2019 (Agricultural statistics 2019)*. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Sagala, E. & S. Suwanto. (2017). Manajemen panen dan pasca panen ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) untuk bahan baku industri tapioka di Lampung. *Buletin Agrohorti*, 5(3), 400–409.
- Sagrilo, E., P.S. Vidigal Filho, M.G. Pequeno, C.A. Scapim, M.C.G. Vidigal, S.P.S. de S. Diniz, E.C. Modesto & M.V. Kvitschal. (2003). Effect of harvest period on the quality of storage roots and protein content of the leaves in five cassava cultivars (*Manihot esculenta*, Crantz). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 46, 295–305. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132003000200022>.
- Shaxson, T.F. & R.G. Barber. (2003). *Optimizing Soil Moisture for Plant Production: The Significance of Soil Porosity*. FAO Soils Bulletin 79. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Wang, Y., G. Cai, J. Yang & Y. Huang. (2011). Mechanical and mathematical model analysis of uprooted force on cassava storage root. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 27(11), 95–100.