

**PENGARUH WAKTU MILLING DENGAN UKURAN NANO SERBUK
DAUN KELOR (*Moringa oleifera*) DAN HUBUNGANYA DENGAN
BIOAVAILABILITAS SECARA *IN-VITRO* DAN *IN-VIVO*
(Effect of Milling time with Nano size particles of Kelor powder (*Moringa oleifera*)
and the correlations with In-vitro and In-vivo bioavailability)**

Syahrial^{1*}, Marni Handayani²

¹Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Andalas, Padang, Indonesia.
E-mail: abilwawa@gmail.com

²Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang, Sumatera Barat, Indonesia. E-mail: marni2000@gmail.com

Received: 10/01/2020

Accepted: 12/7/2020

Published online: 3/11/2020

ABSTRAK

Kekurangan kalsium dalam tubuh disebabkan oleh kalsium yang belum optimal terabsorpsi oleh tubuh sehingga berakibat pada terjadinya defisiensi kalsium. Kalsium tidak dapat diserap maksimal oleh tubuh apabila dalam bentuk molekul yang besar, sehingga kalsium akhirnya terbuang. Untuk itu diperlukan bentuk ukuran nano sehingga kalsium tersebut dapat terserap oleh tulang dengan baik. Tujuan penelitian ini untuk melihat pengaruh waktu milling dengan ukuran nano partikel serbuk daun kelor (*Moringa oleifera*) dan hubungan dengan bioavailabilitas secara invitro dan invivo. Metode penelitian menggunakan rancangan eksperimen laboratorik, dengan sampel daun kelor dalam bentuk serbuk, dan nano partikel akan dilakukan analisis proximat, analisis zat gizi, uji kelarutan dan uji bioavailabilitas. Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh lama waktu milling dengan ukuran partikel nano. Ada perbedaan kadar air, abu, energi, serat dan gula total antara daun kelor serbuk dan nano ($p < 0,05$). Selain itu kandungan vitamin A, vitamin C dan vitamin K antara bentuk serbuk dan nano partikel daun kelor juga menunjukkan perbedaan bermakna ($p < 0,05$). Terdapat perbedaan signifikan kadar kalsium, magnesium, fosfor, kalium dan natrium antara ukuran serbuk dengan ukuran nano partikel daun kelor ($p < 0,05$). Direkomendasi mengkonsumsi nano partikel tepung daun kelor dapat dijadikan sebagai sumber bahan makanan untuk meningkatkan pertumbuhan tulang dan kepadatan tulang.

Kata kunci: Daun kelor, kalsium, nanopartikel

ABSTRACT

Calcium deficiency in the body is caused by calcium that has not optimal absorption by the body, resulting in the occurrence of calcium deficiency. Calcium can not be absorbed maximally by the body when in large molecular

form, so the calcium is finally wasted. Therefore, it is necessary to form nano size so that the calcium can be absorbed by the bones well. The purpose of this research is to see the effect of Milling time with Nano size particles of Kelor powder (*Moringa oleifera*) and the correlations with Invitro and Invivo bioavailability. The research method is to use the research draft of laboratory experiments, with the sample of the Kelor leaves in powder form, and nano particles will be carried out proximate analysis, nutrient analysis, solubility test and bioavailability test. The results showed there was a long influence of milling time with nano particle size. There is a difference in moisture content, ash, energy, fiber and total sugar between the leaves of the powder and nano Kelor ($p < 0,05$). There are significant differences in the content of vitamin A, vitamin C and vitamin K between the form of powder and nano leaf particles ($p < 0,05$). There are significant differences in the levels of calcium, magnesium, phosphorus, potassium and sodium between the size of the powder to the nano leaf-size particles ($p < 0,05$). The recommendation of consuming nano particles kelor flour can be used as a source of food ingredients to increase bone growth and bone density.

Keywords: Calcium, kelor leaves, nanoparticles

PENDAHULUAN

Daun kelor (*Moringa oleifera*) merupakan salah satu tanaman yang dikenal sebagai tanaman serbaguna yang merupakan spesies dari famili monogenerik *Moringaceae*. Walaupun *M. oleifera* berasal dari Himalaya, beberapa negara seperti Afrika, Amerika Tengah dan Selatan, Sri Lanka, India, Meksiko, Malaysia, Indonesia dan Filipina juga banyak membudidayakannya. Beberapa

*Penulis untuk korespondensi: abilwawa@gmail.com



negara, *M. oleifera* disebut sebagai “pohon paha” atau “kuda pohon lobak”. Hampir semua bagian tanaman *Moringa oleifera* dapat digunakan sebagai bahan pengobatan beberapa penyakit seperti asites, rematik, gigitan binatang berbisa, penyakit jantung dan stimulan sirkulasi darah. Beberapa bagian dari *Moringa oleifera* telah diketahui menunjukkan efek antitumor, antiinflamasi, antibakteri, antihelmintik, antioksidan, hipotensif, *cardioprotective*, efek okular, antiurolitiatik, antipasmodik, *hepatoprotective*, dan antipiretik.^{1,2,3}

Mineral adalah zat gizi yang dibutuhkan tubuh untuk menjaga kesehatan (seperti tembaga, besi, kalsium, dan kalium) yang diperlukan tubuh dalam jumlah kecil. Mineral merupakan zat anorganik yang merupakan unsur atau senyawa kimia yang ditemukan di alam.⁴

Beberapa mineral yang terdapat di alam yaitu berasal dari *Moringa oleifera* terdiri dari kalsium, kromium, tembaga, fluorin, besi, mangan, magnesium, molybdenum, fosfor, kalium, yodium, selenium, sulfur, zink, potassium.⁵ Nanoteknologi didasarkan pada kata awal “nano” dari bahasa Yunani yang berarti “kerdil”. Kata “nano” berarti 10^{-9} atau sepemiliar. Nanoteknologi tidak selalu teknologi baru untuk desain, proses, dan penggunaan material pada skala nanometer (nm). Nano kalsium salah satunya dapat langsung diserap oleh tubuh dengan sempurna dibandingkan makro kalsium dan sangat bermanfaat dalam pemenuhan kalsium tubuh yang optimal dan dapat dikonsusmi oleh segala usia.⁶

Analisis bioavailabilitas terhadap nano kalsium menunjukkan bahwa kalsium yang terserap oleh tubuh pada menit ke-3, ke-5, dan ke-7 sebesar 8,5%, 9,6%, dan 63,3%. Tingginya bioavailabilitas nano kalsium memberikan banyak keuntungan bagi manusia. Nanokalsium dapat difortifikasikan pada bahan pangan sehingga dapat memenuhi kebutuhan kalsium harian orang dewasa sekitar 800 mg/hari. Nano kalsium juga mengandung komponen mineral lain yaitu magnesium, kalium, natrium, fosfor, besi, zink, dan mangan. Nano kalsium yang

dihasilkan memiliki nilai pH sebesar 9,40. Ukuran partikel nanokalsium berkisar 37-127 nm.^{2,5,7}

Kalsium tidak akan dapat diserap tubuh apabila ditambahkan dengan molekul yang besar. Oleh sebab itu, diperlukan bentuk ukuran nano pada kalsium agar dapat terserap oleh tulang dengan baik. Bubuk nanometer secara signifikan dapat meningkatkan bioavailabilitas kalsium dan memiliki manfaat gizi yang penting berdasarkan evaluasi dalam pertumbuhan tikus model.⁸

Kelainan metabolik tulang ditandai dengan berkurangnya massa tulang, adanya kerusakan pada tekstur tulang, terjadi peningkatan kerapuhan tulang, dan menyebabkan risiko fraktur (NIH 1993). Massa tulang yang berkurang akan membuat tulang semakin keropos dan rapuh sehingga mudah keropos yang disebut osteoporosis.⁹

Berdasarkan uraian di atas diperoleh informasi bahwa *Moringa oleifera* memiliki sumber kalsium yang tinggi dan teknologi nano akan dapat membantu zat gizi terutama kalsium lebih cepat diserap tubuh (tulang). Oleh sebab itu, penelitian ini mempunyai tujuan yaitu untuk mengukur pengaruh waktu milling dengan ukuran nano partikel serbuk daun kelor (*Moringa oleifera*) dan hubungan dengan bioavailabilitas secara *Invitro* dan *Invivo*.

METODE

Desain

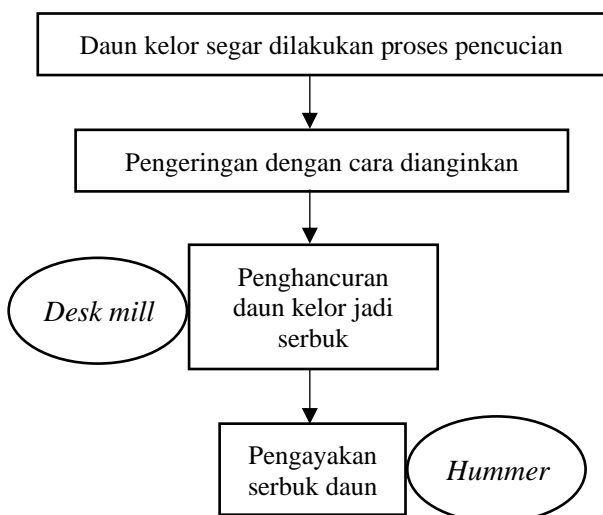
Desain penelitian yaitu dilakukan secara eksperimen, yang dilakukan pada laboratorium gizi masyarakat di Institut Pertanian Bogor (IPB). Penelitian telah dilakukan pada bulan September sampai November 2017. Tempat yang digunakan dalam penelitian adalah untuk pembuatan serbuk daun kelor dilakukan di Perkebunan daun kelor Blora Jawa Tengah, selanjutnya menjadikan tepung daun kelor menjadi bentuk nano partikel dilakukan di Puspitek Balai Teknologi Bukit Serpong Jawa Barat selanjutnya analisis proksimat dilakukan di bioteknologi LIPI serpong Jawa Barat untuk Analisis Mineral dilakukan di bioteknologi LIPI

serpong Jawa Barat selanjutnya analisis vitamin dan kelarutan dilakukan di laboratorium saraswanti Bogor Jawa Barat dan uji Bioavailabilitas secara *ivitro* dan *invivo* dilakukan di Laboratorium Gizi masyarakat IPB.

Alat dan Bahan

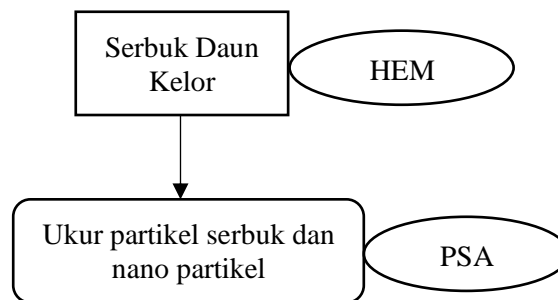
Perlakuan terhadap pengeringan daun kelor yaitu dengan cara diagin-anginkan dan pembuatan tepung daun kelor digunakan *Hummer mill* dan *Desk mill*, untuk menjadikan tepung daun kelor menjadi nano partikel digunakan *Hight Energy Miling* (HEM) menggunakan analisis proksimat selanjutnya analisis mineral dengan menggunakan metode AAS (*Atomic absorption spectrofotometry*) untuk Analisis Vitamin digunakan metode HPLC selanjutnya uji kelarutan (serbuk dan nano partikel serbuk daun kelor) terus dilakukan uji bioavailabilitas (serbuk, dan nano partikel serbuk daun kelor).

Prosedur pembuatan daun kelor, untuk pembuatan tepung *Hummer mill* dan *Desk mill* menggunakan prosedur dibawah ini, yang dilakukan oleh perkebunan daun kelom yaitu sebagai berikut:



Gambar 1. Prosedur pembuatan daun kelor

Selanjutnya dilakukan pembuatan nano partikel dari hasil pengayakan daun kelor, digunakan metode *Hight Energy Miling* (HEM). Prosedur pembuatan nano partikel adalah disajikan pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Prosedur pembuatan nano partikel

Analisis Proksimat (Standar Nasional Indonesia SNI-2891-1992)

Daun kelor dalam bentuk serbuk, bentuk mikro dan nano partikel dilakukan uji proksimat untuk melihat kandungan energi, karbohidrat lemak, protein, kadar abu, serat kasar serta air dan serat pangan.

Analisis Mineral (Aoc Official Methods of Analysis, 2005)

Daun kelor dalam bentuk serbuk di analisis dengan metode AAS untuk melihat kandungan mineral seperti kalsium, magnesium, fosfor, kalium dan zinc.

Analisis Vitamin (Aoc Official Methods Of Analysis, 2005)

Daun kelor dalam bentuk serbuk akan di analisis dengan metode HPLC untuk melihat kandungan vitamin seperti vitamin A, vitamin C, vitamin D dan vitamin K.

Analisis Uji Kelarutan dan Uji Bioavailabilitas

Analisis akhir yaitu dilakukan untuk uji kelarutan, serbuk, dan nano partikel. Setelah itu, baru dilakukan uji bioavailabilitas serbuk, dan nano partikel secara *invitro* dan *invivo*.

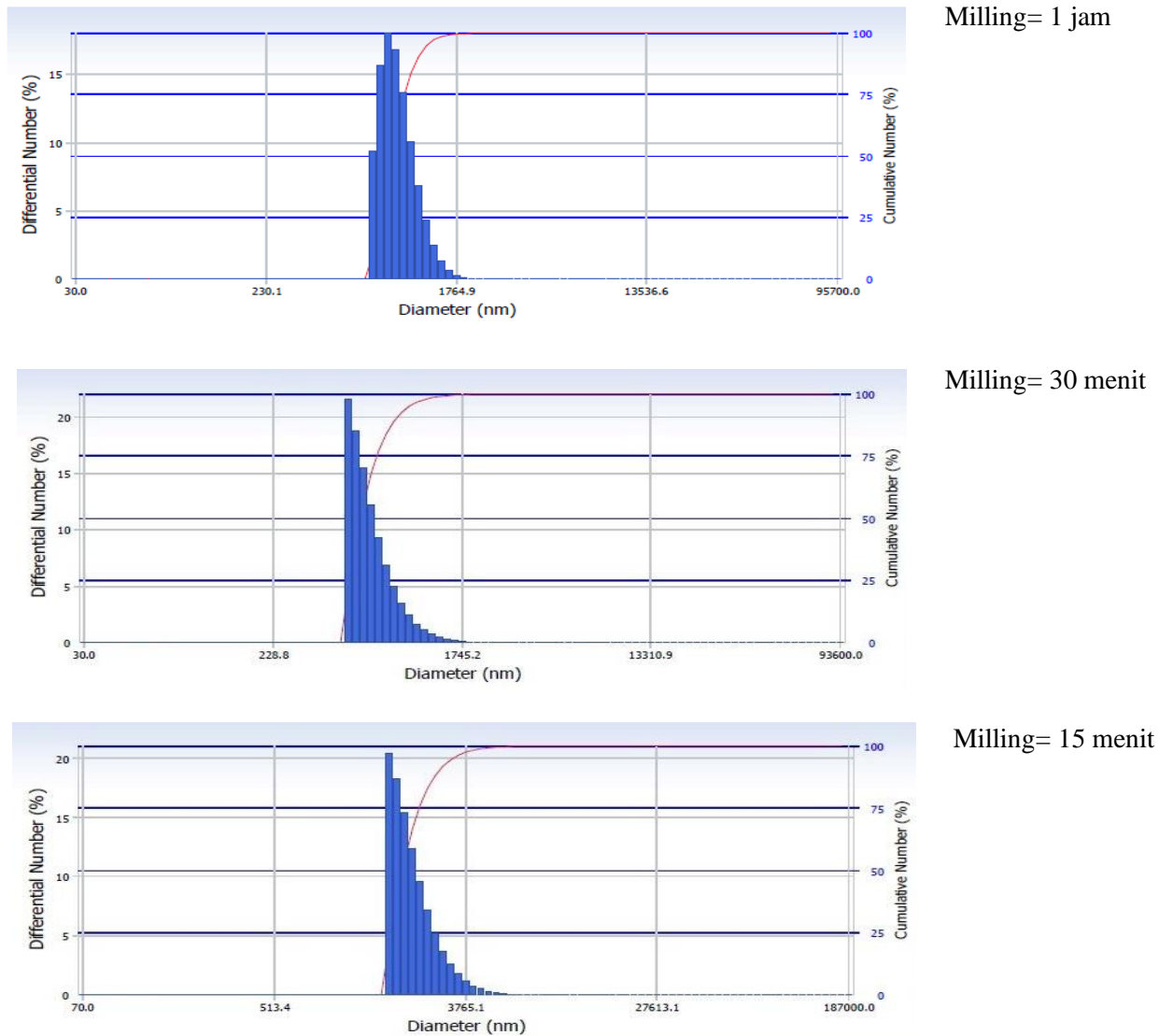
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Waktu Milling dan Ukuran Nano Partikel Serbuk Daun Kelor

Waktu milling daun kelor ukuran nano partikel dilakukan sebanyak tiga kali yaitu 1 jam, 30 menit dan 15 menit. Berikut hasil penelitian (gambar 3) waktu milling

menunjukkan perbedaan diameter ukuran nano partikel. Secara lebih detail, ukuran rata-rata nano

partikel daun kelor berdasarkan waktu milling disajikan pada tabel 1.



Gambar 3. Perbedaan diameter nano partikel berdasarkan waktu milling

Tabel 1. Ukuran nano partikel daun kelor dengan waktu milling 1 jam, 30 menit dan 15 menit

Waktu Milling	Diameter Nano Partikel (nm)	Standar Deviasi
1 jam	1.012,8	1.725,4
30 menit	669,7	189,7
15 menit	2.214,1	626,4

2. Analisis Proksimat dalam Bentuk Serbuk dan Nano Partikel Daun Kelor

Analisis proksimat merupakan suatu metode analisis untuk mengetahui kandungan zat gizi suatu bahan pangan yaitu kandungan

protein, lemak, energi, serat, kadar air dan kadar abu, dengan membandingkan nilai standar nilai gizi yang telah ditentukan. Analisis proksimat pada penelitian ini dilakukan sebanyak dua kali ulangan, kemudian dirata-ratakan.

Tabel 2. Kandungan zat gizi dalam 100 gram takaran saji

Parameter	Ukuran Partikel		Nilai p
	Serbuk	Nano	
Kadar air (%)	4,81 ± 0,43	8,32 ± 0,14	0,000*
Kadar abu (%)	10,79 ± 0,03	10,56 ± 0,04	0,001*
Kadar lemak (%)	4,25 ± 0,90	4,32 ± 0,59	0,916
Kadar protein (%)	26,83 ± 0,31	26,22 ± 0,65	0,177
Kadar energi (kkal)	358,85 ± 0,01	346,08 ± 0,01	0,000*
Kadar serat	9,74 ± 0,29	7,75 ± 0,72	0,011*

*Signifikan pada CI: 95% ($p < 0,05$)

Tabel 2 menunjukkan bahwa analisis proksimat meliputi kadar air, kadar abu, energi, serat dan gula total berbeda signifikan antara daun kelor serbuk dan nano ($p < 0,05$), sedangkan kadar lemak dan protein tidak berbeda signifikan antara daun kelor serbuk dan nano ($p > 0,05$).

Kadar air merupakan salah satu karakteristik penting pada bahan pangan, karena penampakan, tekstur, dan cita rasa yang terdapat dalam bahan pangan dapat dipengaruhi oleh air. Bahan pangan yang memiliki kadar air yang tinggi dapat menyebabkan bakteri, kapang dan khamir menjadi lebih mudah untuk berkembang biak. Hal ini dapat menyebabkan perubahan pada bahan pangan tersebut.¹⁰ Kadar air pada serbuk nano lebih besar (8,32%) dibandingkan dengan serbuk daun kelor (4,81%). Kandungan kadar air pada serbuk daun kelor sebesar 10,74 gram. Perbedaan kadar air pada serbuk daun kelor kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jenis dan daerah daun kelor tersebut.⁹

Kadar abu merupakan kadar mineral total yang terdapat dalam suatu bahan pangan.¹¹ Jongrungruangchok et al, telah melaporkan bahwa terdapat perbedaan signifikan kadar abu serbuk daun kelor dengan ukuran nano partikel ($p < 0,05$), dengan rerata 10,79 % pada ukuran serbuk dan 10,56% pada ukuran nano. Penelitian menunjukkan bahwa rerata kadar abu serbuk daun kelor di Thailand yaitu 7,07%.¹²

Kadar lemak pada serbuk daun kelor tidak berbeda signifikan dengan ukuran nano partikel ($p > 0,05$), dengan rerata 4,25% pada serbuk dan 4,32% pada ukuran nano partikel. Kadar lemak pada daun kelor masih tergolong rendah, hal ini berbeda dengan penelitian yang menyebutkan

bahwa kandungan lemak pada serbuk kering daun keor yaitu 6,50%.¹³

Daun kelor merupakan sumber protein nabati yang sangat baik untuk vegetarian. Daun kelor mengandung semua jenis asam amino esensial yang merupakan bahan pembangun protein dan sangat bermanfaat bagi orang-orang yang tidak mendapatkan protein yang bersumber dari pangan hewani. Kandungan protein ukuran serbuk tidak berbeda signifikan dengan ukuran nano ($p > 0,05$), dengan rerata kadar protein 26,83 % pada ukuran serbuk dan 26,22% pada ukuran nano partikel. Kandungan protein pada serbuk dan nano partikel daun kelor tergolong tinggi. Penelitian mengemukakan bahwa kandungan protein pada serbuk daun kelor sebesar 26,3%.¹⁴

Kandungan energi pada serbuk daun kelor lebih besar dibandingkan dengan nano partikel. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan ukuran partikel daun kelor. Kandungan serat serbuk daun kelor berbeda signifikan dengan ukuran nano partikel ($p < 0,05$), kandungan serat pada daun kelor ukuran nano lebih sedikit dibandingkan dengan serbuk, sejalan dengan penelitian yang menyebutkan bahwa kandungan serat serbuk daun kelor sebesar 19,91%.¹²

3. Analisis Vitamin dalam Bentuk Serbuk dan Nano Partikel Daun Kelor

Vitamin merupakan suatu molekul organik yang sangat diperlukan tubuh untuk proses metabolisme dan pertumbuhan yang normal. Vitamin-vitamin tidak dapat dibuat oleh tubuh manusia dalam jumlah yang cukup, oleh sebab itu harus diperoleh dari bahan pangan yang dikonsumsi.¹⁰ *Moringaoleifera Lam* (kelor) telah dianjurkan sebagai tanaman indigenous yang

merupakan sumber protein yang mudah dicerna, kalsium, besi, Vitamin C, dan karotenoid.¹⁵

Hasil penelitian (tabel 3), menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan kandungan vitamin A, vitamin C dan vitamin K antara bentuk serbuk dan nano partikel daun kelor ($p <$

0,05), sedangkan vitamin D tidak berbeda signifikan antara kedua kelompok ($p >$ 0,05). Kandungan vitamin A berbeda signifikan antara kedua kelompok ukuran partikel ($p <$ 0,05), dengan rerata 152,22 IU pada ukuran serbuk dan 143,96 IU pada ukuran nano.

Tabel 3. Kandungan vitamin berdasarkan ukuran partikel daun kelor

Parameter	Ukuran Partikel		Nilai p
	Serbuk	Nano	
Vitamin A/Beta karoten (IU)	152,22 ± 0,90	143,96 ± 0,01	0,000*
Vitamin C (mg)	26,65 ± 0,76	20,86 ± 0,02	0,000*
Vitamin D (mg)	0,67 ± 0,01	0,67 ± 0,02	0,561
Vitamin K (mg)	36,33 ± 0,00	42,81 ± 0,01	0,000*

*Signifikan pada CI: 95% ($p <$ 0,05)

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang telah dilaporkan oleh Burhanuddin¹⁶, yang menunjukkan hasil yang lebih tinggi yaitu 186 IU². Kandungan vitamin C pada serbuk daun kelor lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan ukuran nano, dengan nilai masing-masing 26,65 mg dan 20,86 mg. Perbedaan nilai kandungan vitamin C daun kelor dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Irwan et al, menjelaskan bahwa kandungan zat gizi yang terdapat pada bahan pangan nabati seperti pangan daun kelor dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor genetik tanaman yang dipengaruhi oleh spesies dan varietasnya, asal tanaman, tingkat kematangan saat pemanenan dan saat dikonsumsi, kondisi tumbuh, suhu, cahaya matahari, jumlah air, jenis tanah dan kesuburan tanah¹⁷.

Kandungan vitamin D tidak berbeda signifikan antara ukuran serbuk dan nano partikel daun kelor ($p >$ 0,05), dengan nilai masing-masing 0,67 mg. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel serbuk daun kelor tidak mempengaruhi kandungan vitamin D. Kandungan vitamin K lebih tinggi secara signifikan pada ukuran nano partikel dibandingkan dengan serbuk daun kelor dengan nilai 42,81 mg pada nano partikel dan 36,33 pada serbuk daun kelor.¹¹

4. Analisis Mineral dalam Bentuk Serbuk dan Nano Partikel Daun Kelor

Sebagian besar bahan makanan yaitu terdiri dari bahan organik dan air yang mencapai sebesar 96%. Sisanya terdiri dari unsur-unsur mineral.¹⁰ Daun kelor merupakan salah satu bahan pangan yang kaya akan mineral.

Tabel 4. Kandungan mineral berdasarkan ukuran partikel daun kelor

Parameter	Ukuran Partikel		Nilai p
	Serbuk	Nano	
Kalsium	60.225 ± 25,03	53.187 ± 4,04	0,000*
Magnesium	765 ± 15,50	1.997 ± 7,51	0,000*
Fosfor	4.598 ± 49,33	4.697 ± 7,57	0,026*
Seng	15,7 ± 3,55	21,4 ± 1,50	0,000*
Kalium	2.859 ± 1,00	6.658 ± 1,00	0,000*
Natrium	396 ± 7,57	94,4 ± 0,100	0,000*

*Signifikan pada CI: 95% ($p <$ 0,05)

Hasil penelitian (tabel 4) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan kadar kalsium, magnesium, fosfor, kalium dan natrium antara ukuran serbuk dengan ukuran nano partikel daun kelor ($p < 0,05$), sedangkan kandungan seng tidak berbeda signifikan antar kedua kelompok partikel serbuk daun kelor ($p > 0,05$).

Jumlah kalsium yang terdapat di dalam tubuh orang dewasa adalah 1,5 - 2% dari berat badan atau kurang lebih sebanyak 1 kg. Di dalam jaringan keras yaitu tulang dan gigi terdapat sebanyak 99% dari jumlah tersebut, terutama dalam bentuk hidroksiapatit. Kalsium tulang seimbang dengan kalsium plasma pada konsentrasi kurang lebih 2,25 – 2,60 mmol/l (9-10,4 mg/100 ml)¹. Daun kelor mengandung kalsium yang cukup tinggi. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa kandungan kalsium pada daun kelor ukuran serbuk lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran nanopartikel, dengan nilai 60.225 ppm pada serbuk dan 53.187 ppm.

Kandungan magnesium pada daun kelor ukuran nano partikel lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran serbuk, dengan nilai 1.997 ppm pada nano dan 765 pada serbuk. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran permukaan daun kelor, semakin tinggi kandungan magnesium. Kandungan fosfor juga lebih tinggi pada daun kelor dengan ukuran nano dibandingkan dengan ukuran serbuk, dengan nilai 4.598 ppm pada serbuk dan 4.697 pada ukuran nano partikel daun kelor.

Kandungan seng tidak berbeda signifikan antara kedua kelompok ukuran partikel daun kelor, namun pada ukuran nano cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan serbuk daun kelor, dengan nilai masing-masing 15,7 ppm dan 21,4 ppm. Kandungan kalium juga lebih tinggi secara signifikan pada ukuran nano partikel dibandingkan dengan serbuk, dengan nilai

masing-masing 6.658 ppm dan 2.859 ppm. Sedangkan, kandungan natrium lebih tinggi pada ukuran serbuk dibandingkan dengan ukuran nano partikel.

5. Uji Kelarutan dalam Bentuk Serbuk dan Nano Partikel Daun Kelor

Hasil penelitian terhadap kelarutan serbuk dan nano partikel pada daun kelor diketahui tidak begitu baik. Pada serbuk daun kelor uji parameter kelarutan tidak dapat terlarut sempurna, begitu juga pada nano partikel hasilnya juga menunjukkan tingkat kelarutannya adalah tidak sempurna.

Kelarutan merupakan keadaan suatu senyawa baik padat, cair, ataupun gas yang terlarut dalam padatan, cairan, atau gas yang akan membentuk larutan homogen. Kelarutan merupakan parameter penting bagi suatu obat dalam mencapai konsentrasi yang dibutuhkan untuk menghasilkan respon farmakologi. Banyak obat memiliki kelarutan yang buruk di dalam air, padahal obat harus berada dalam bentuk terlarut ketika akan diabsorpsi.¹⁸ Kelarutan suatu bahan pangan berkorelasi dengan bioavailabilitas.

6. Bioavailabilitas

Hasil penelitian (tabel 5) menunjukkan bahwa bioavailabilitas kalsium daun kelor ukuran nano 300 lebih besar dibandingkan dengan ukuran nano 600 dan bentuk serbuk, dengan nilai 63,49% pada nano 300, dan sebesar 55,04% pada nano 600 serta sebesar 26,17% untuk ukuran serbuk. Uji korelasi pearson menunjukkan hubungan negatif antara ukuran partikel daun kelor dengan bioavailabilitas kalsium dengan $p = 0,020$ serta nilai r yaitu $-0,833$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel daun kelor maka tingkat bioavailabilitas kalsium semakin tinggi.

Tabel 5. Perbandingan ukuran partikel daun kelor

Parameter	Ukuran Partikel			Nilai p	Nilai r
	Nano 300	Nano 600	Serbuk		
Kalsium (%)	63,49	55,04	26,17	0,020	-0,833
Magnesium (%)	22,43	37,46	41,89	0,001	+1,000
Fosfor (%)	21,63	25,33	21,47	0,261	+0,108

Bioavailabilitas magnesium daun kelor tertinggi terdapat pada bentuk serbuk yaitu 41,89 %, sedangkan ukuran nano 600 yaitu 37,46% dan tingkat bioavailabilitas yang paling rendah yaitu ukuran nano 300 dengan nilai 22,43%. Hasil uji korelasi antara ukuran partikel dengan bioavailabilitas menunjukkan hubungan positif signifikan ($p= 0,001$), dengan nilai korelasi sebesar 1,000. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran partikel daun kelor maka semakin tinggi tingkat bioavailabilitas magnesium daun kelor tersebut.

Selanjutnya, pada bioavailabilitas posfor tertinggi terdapat pada ukuran partikel nano 600 yaitu sebesar 25,33%, sedangkan tingkat bioavailabilitas ukuran nano 300 dan bentuk serbuk cenderung sama yaitu masing-masing 21,63% dan 21,47 %. Berdasarkan uji korelasi menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan ($p > 0,05$) yang signifikan antara ukuran partikel dengan bioavailabilitas posfor daun kelor.

Bioavailabilitas kalsium atau ketersediaan biologis dari kalsium adalah jumlah kalsium yang tersedia dalam bahan pangan yang dapat diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh. Kebutuhan yang semakin meningkat dan persediaan kalsium yang rendah dalam tubuh akan menyebabkan absorpsi kalsium semakin efisien. Kebutuhan kalsium akan semakin meningkat pada saat pertumbuhan, kehamilan, menyusui, kekurangan kalsium, dan peningkatan densitas tulang berdasarkan tingkatan aktivitas fisik.¹⁹

Nano kalsium salah satunya dapat langsung diserap oleh tubuh dengan sempurna dibandingkan makro kalsium dan sangat bermanfaat dalam pemenuhan kalsium tubuh yang optimal dan dapat dikonsumsi oleh segala usia.⁶

KESIMPULAN

Penentuan ukuran nano partikel dan waktu milling pada serbuk daun kelor menurut lama waktu dalam proses pembuatan nano partikel tidak berpengaruh kepada ukuran nano partikel, karena semua proses dalam pembuatannya tergantung pada jenis bahan. Secara umum terdapat pengaruh waktu milling

dengan ukuran nano partikel serbuk daun kelor (*Moringa oleifera*), serta mempunyai hubungan signifikan secara *invitro* dan *invivo*. Sedangkan ukuran partikel dengan bioavailabilitas posfor daun kelor tidak menunjukkan hubungan bermakna.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gopalakrishnan L, Doriya K, Kumar DS. *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food science and human wellness*. 2016;5(2):49-56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>.
2. Paikra BK, Dhongade HKJ, Gidwani B. Phytochemistry and Pharmacology of *Moringa oleifera* Lam. *Journal of pharmacopuncture*. 2017;20(3):194-200. doi:10.3831/KPI.2017.20.022.
3. Anwar F, Ashraf M, Bhangar MI. Interprovenance variation in the composition of *Moringa oleifera* oilseeds from Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2005;82(1):45-51. doi:10.1007/s11746-005-1041-1.
4. Nweze NO, Nwafor FI. Phytochemical, proximate and mineral composition of leaf extracts of *Moringa oleifera* Lam. from Nsukka, South-Eastern Nigeria. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)*. 2014;9(1):99-103.
5. Krisnadi AD. *Kelor Super Nutrisi*. Kunduran. Yogyakarta: Blora (ID): Pusat Informasi dan Pengembangan Tanaman Kelor Indonesia. Lembaga Swadaya Masyarakat Media Peduli Lingkungan (LSMMEPELING); 2012.
6. Suptijah P, Jacob AM, Deviyanti N. Karakterisasi dan bioavailabilitas nanokalsium cangkang udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Akuatika*. 2012;3(1).
7. Syahrial S, Rimbawan R, Damayanthi E, Astuti DA, Suptijah P. Pengaruh pemberian nano daun kelor (*moringa oleifera*) terhadap kadar mineral serum dan tulang pada tikus sprague dawley jantan tumbuh. *Jurnal Gizi*

- Indonesia (The Indonesian Journal of Nutrition)*. 2019;7(2):114-120. doi:<https://doi.org/10.14710/jgi.7.2.114-120>.
8. Gao H, Chen H, Chen W, Tao F, Zheng Y, Jiang Y, Ruan H. Effect of nanometer pearl powder on calcium absorption and utilization in rats. *Food Chemistry*. 2008;109(3):493-498. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.052>.
 9. El Sohaimy SA, Hamad GM, Mohamed SE, Amar MH, Al-Hindi RR. Biochemical and functional properties of Moringa oleifera leaves and their potential as a functional food. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*. 2015;4(4):188-199.
 10. Winarno F. *Kimia Pangan Dan Gizi: Edisi Terbaru*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama; 2008.
 11. Berdanier CD, Dwyer JT, Feldman EB. *Handbook of Nutrition and Food*. Florida: CRC press; 2007.
 12. Jongrungruangchok S, Bunrathep S, Songsak T. Nutrients and minerals content of eleven different samples of Moringa oleifera cultivated in Thailand. *Journal of Health Research*. 2010;24(3):123-127.
 13. Moyo B, Masika PJ, Hugo A, Muchenje V. Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *African Journal of Biotechnology*. 2011;10(60):12925-12933. doi:10.5897/AJB10.1599.
 14. Manzoor M, Anwar F, Iqbal T, Bhangar MI. Physico-Chemical Characterization of Moringa concanensis Seeds and Seed Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2007;84(5):413-419. doi:10.1007/s11746-007-1055-3.
 15. Fahey JW. Moringa oleifera: a review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. *Trees for life Journal*. 2005;1(5):1-15.
 16. Burhanuddin WR. Pengaruh variasi pengolahan dan pemanasan ulang terhadap kandungan zat gizi dan bioavailabilitas mineral daun kelor. [Tesis]. *Institut Pertanian Bogor*. 2017.
 17. Irwan Z, Salim A, Adam A. Pemberian cookies tepung daun dan biji kelor terhadap berat badan dan status gizi anak balita di wilayah kerja Puskesmas Tampa Padang. *AcTion: Aceh Nutrition Journal*. 2020;5(1):45-54. doi:<http://dx.doi.org/10.30867/action.v5i1.198>.
 18. Pamudhita WYPA, Hendriani R. Teknik Peningkatan Kelarutan Obat. *Farmaka*. 2016;14(2):288-297. doi:<https://doi.org/10.24198/jf.v14i2.10866>.
 19. Mardiah M. Analisa Kadar Kalsium (Ca) Pada Daun Kelor (*Moringa oleifera*). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. 2018;8(1):49-52. doi:<https://doi.org/10.20956/jal.v8i1.3930>.