

Pengaruh Teknologi Ekstrusi terhadap Perubahan Kandungan Serat Pangan Larut: Studi Meta-Analisis

Irmayanti¹, Sakinah Amir², Ulfa Purnamasari², Andi Nurliani¹

¹Universitas Sipatokkong Mambo

²Universitas Negeri Makassar

Corresponding Author: Irmayanti, E-Mail: irmayanti.kambolleng@gmail.com

ABSTRAK

Serat pangan (*dietary fiber*) merupakan salah satu bagian tanaman atau karbohidrat analog yang tahan terhadap pencernaan dan penyerapan di usus kecil manusia, tetapi dapat difermentasi pada usus besar. Berdasarkan kelarutannya, serat pangan terdiri dari serat pangan larut dan serat pangan tidak larut. Serat larut diantaranya pektin, mucilages dan gum, serat tidak larut yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Serat pangan yang berkualitas memiliki kandungan serat pangan larut minimal 10%, tetapi serat tidak larut umumnya memiliki jumlah yang lebih besar dibandingkan serat pangan larut. Peningkatan serat pangan larut dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya dengan ekstrusi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kondisi ekstrusi seperti suhu dan kecepatan ulir terhadap perubahan kandungan serat pangan larut melalui studi meta-analisis. Penelitian ini terdiri dari perumusan pertanyaan penelitian, penentuan kriteria inklusi dan eksklusi, pencarian *literature*, ekstraksi data dan analisis statistik menggunakan aplikasi OpenMEE. Analisis data menggunakan nilai ukuran efek Hedges'd (*standardized mean difference/SMD*) dengan selang kepercayaan 95% (*confidence interval/CI*) yang dikumpulkan pada model efek acak (*random model effect*). Hasil penelitian menunjukkan *overall effect size* pada serat pangan larut 3,845 dengan *p-value* < 0,001 bermakna terjadinya peningkatan secara signifikan. Hal ini dikarenakan pada proses ekstrusi terjadi pemutusan ikatan glikosidik β -1,4 pada serat tidak larut dan mengalami transisi menjadi serat larut. Analisis *subgroup* menunjukkan kondisi suhu dan kecepatan ulir, dapat meningkatkan kualitas serat pangan. Suhu dengan selang $100 < x \leq 130^\circ\text{C}$ dan kecepatan ulir selang $100 < x \leq 200$ rpm, menunjukkan peningkatan serat pangan larut.

Kata Kunci: Ekstrusi, meta-analisis, polisakarida, serat pangan larut

ABSTRACT

Dietary fiber is part of a plant or carbohydrate analog resistant to digestion and absorption in the human small intestine but can be fermented in the large intestine. Based on its solubility, dietary fiber consists of soluble dietary fiber and insoluble dietary fiber. Soluble dietary fiber includes pectin, mucilages, and gums; insoluble dietary fiber contains cellulose, hemicellulose, and lignin. Quality food fiber has a minimum presentation of 10% soluble dietary fiber, but insoluble dietary fiber generally has a more incredible amount than soluble dietary fiber. Several methods, including extrusion, can do increasing soluble dietary fiber. This study aims to determine the effect of extrusion conditions such as temperature and screw speed on soluble dietary fiber content through a meta-analysis study. This study consisted of searched research questions, purchasing inclusion and exclusion extraction, literature search, data extraction, and statistical analysis using the OpenMEE application. Data analysis used the value of the Hedges'd effect size (standardized mean difference/SMD) with a 95% confidence interval (CI) collected in the random effects model. The results showed that the overall effect size of soluble dietary fiber was 3,845 with a p-value <0,001, meaning a significant increase. This is because in the extrusion process, the β -1.4 glycoside bond is broken in insoluble fiber, so it undergoes a transition to soluble dietary fiber. Subgroup analysis showed that temperature and screw speed could improve the quality of dietary fiber. With an interval of temperature $100 < x \leq 130^\circ\text{C}$ and screw speed of $100 < x \leq 200$ rpm showed an increase in soluble dietary fiber.

Keywords: Extrusion, meta-analysis, polysaccharides, soluble dietary fiber

PENDAHULUAN

Serat pangan merupakan bagian tanaman yang dapat dikonsumsi atau karbohidrat analog yang tahan terhadap pencernaan dan penyerapan di usus kecil manusia dengan fermentasi lengkap atau sebagian di usus besar (Laporan AACC, 2000 dalam Jing dan Chi 2013). Serat pangan diklasifikasikan sebagai serat pangan larut dan serat pangan tidak dalam hal kelarutannya pada air. Serat tidak larut meliputi selulosa, hemiselulosa, lignin dll., sedangkan serat larut diantaranya pentosan, pektin, gum, kitosan dan sebagainya (Esposito *et al.* 2005; Jia *et al.* 2019).

Serat pangan memiliki dampak positif terhadap kesehatan, seperti pencernaan dan penyakit kardiovaskuler. Menurut paten yang diterbitkan oleh Leitz dan Pusateri (1989) dikutip dalam Guo *et al.* (2018) proporsi serat larut dalam serat pangan total setidaknya 10% untuk dinyatakan berkualitas tinggi. Kandungan serat pangan berpengaruh pada produk makanan seperti rasa, tekstur dan warna. Hal ini yang mendasari beberapa peneliti melakukan modifikasi untuk meningkatkan sifat fisikokimia dan karakteristik pengolahan pada serat pangan (Qiao *et al.* 2021).

Salah satu metode umum yang digunakan pada modifikasi serat yaitu dengan ekstrusi, meliputi perlakuan suhu dan tekanan tinggi dengan waktu singkat. Proses ekstrusi merupakan teknologi yang umum digunakan dalam pengolahan makanan, termasuk produk tinggi serat. Dengan ekstrusi, komposisi dan sifat fisikokimia bahan makanan dapat dimodifikasi, termasuk serat pangan. Ekstrusi dapat memutuskan beberapa ikatan glikosidik dari serat tidak larut dan menurunkan derajat polimerisasi (Vasanthan *et al.* 2002; Jia *et al.* 2019; Qiao *et al.* 2021).

Banyak penelitian yang menunjukkan bahwa ekstrusi meningkatkan kandungan serat larut pada produk akhir. Qiao *et al.* (2021) memperoleh peningkatan serat larut pada dedak padi dari 4,20% menjadi 4,50-5,51% setelah ekstrusi. Zhong *et al.* (2019) juga mendapatkan peningkatan serat larut pada *lupin seed coat* dari 2,90% menjadi 4,88-9,03%. Perbedaan persentase peningkatan serat larut dipengaruhi oleh kondisi ekstrusi, yaitu suhu dan kecepatan ulir yang digunakan pada sampel eksperimen. Naumann *et al.* (2021) memperoleh peningkatan serat larut maksimum *lupin kernel fibre* dari 1,9% menjadi 37,7% dengan kondisi suhu 150°C dan kecepatan ulir 200 rpm. Zhang *et al.* (2011) juga menemukan peningkatan serat larut maksimum pada *oat bran* dari 8,9% menjadi 14,2% dengan suhu 140°C dan kecepatan ulir 150 rpm. Hasil tersebut sejalan dengan Zhong *et al.* (2021) yang menemukan peningkatan serat larut dari 4,42% menjadi 9,56% pada suhu 120°C dan kecepatan ulir 400 rpm. Tetapi ketika dilakukan peningkatan kondisi suhu dan kecepatan ulir serat larut ditemukan dalam jumlah lebih kecil, yaitu mencapai 6,73% pada kondisi suhu 135°C dan kecepatan ulir 350 rpm. Hasil berbeda diperoleh Repo-Carrasco-Valencia *et al.* (2009) yang mana terjadi penurunan serat larut dari 1,65% menjadi 1,46% pada sampel kiwicha Oscar Blanco setelah melalui proses ekstrusi. Hasil serupa ditemukan Li *et al.* (2012) pada kandungan serat larut, yang menurun dengan meningkatnya kondisi ekstrusi seperti suhu dan kecepatan ulir.

Meta-analisis merupakan studi kuantitatif yang digunakan menilai suatu studi penelitian terdahulu secara sistematis untuk memperoleh kesimpulan valid. Studi meta-analisis dapat berupa perbandingan antara kelompok kontrol dan eksperimen serta studi korelasi (Gurevitch *et al.* 2018). Studi meta-analisis tentang pengaruh kondisi proses terhadap perubahan karakteristik polisakarida telah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti, diantaranya pengaruh *heat moisture treatment* (HMT) dan *annealing* terhadap pati resisten (Faridah *et al.* 2021) dan pengaruh *autoclaving-cooling* 2 siklus terhadap pati resisten (Silitonga *et al.* 2021). Dengan demikian, studi meta-analisis mengenai pengaruh kondisi ekstrusi yang meliputi suhu dan kecepatan ulir terhadap perubahan kandungan serat pangan larut perlu dilakukan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi meta-analisis menggunakan prosedur yang dikutip dari Tawfik *et al.* (2019) dan Afandi *et al.* (2021) dengan modifikasi. Tahapan meta-analisis yaitu perumusan pertanyaan penelitian, penentuan kriteria inklusi dan eksklusi, pencarian literatur, ekstraksi data, dan analisis statistik.

Pertanyaan penelitian yang diajukan pada setiap studi harus jelas, logis dan relevan. Metode yang dapat digunakan dalam merumuskan pertanyaan penelitian yaitu dengan *Population, Intervention, Comparison Outcome* (PICO). Adapun *population* dapat diartikan sebagai populasi yang diberikan perlakuan, *intervention* merupakan perlakuan pada studi, *comparison* yaitu kelompok kontrol sebagai pembanding dari kelompok eksperimen, dan *outcome* adalah efek dari perlakuan atau eksperimen. Maka pertanyaan penelitian yang dapat diajukan pada studi meta-analisis ini adalah “apakah kondisi suhu ekstrusi dapat mempengaruhi perubahan kandungan serat pangan larut?”.

Proses seleksi artikel dalam studi meta-analisis ditentukan berdasarkan kriteria inklusi dan kriteria eksklusi. Kriteria inklusi merupakan parameter dalam memilih artikel yang akan digunakan dalam meta-analisis. Kriteria eksklusi merupakan indikator yang menyebabkan suatu studi tidak dapat digunakan dalam studi meta-analisis. Kriteria inklusi pada penelitian ini yaitu jurnal internasional terindeks scopus, jurnal merupakan artikel penelitian, teknologi proses yang digunakan dalam studi yaitu ekstruksi, artikel membahas perubahan kandungan serat pangan larut, serta data berupa nilai rata-rata, standar deviasi dan jumlah ulangan lengkap. Adapun kriteria eksklusi penelitian ini yaitu jurnal *review*, buku, prosiding dan data statistik tidak lengkap.

Sumber literatur yang digunakan pada penelitian ini merupakan studi relevan yang dipublikasikan di berbagai jurnal ilmiah dan terindeks dalam database seperti *PubMed*, *Science Direct*, *Wiley Online Library*, *Google Scholar* dan *Springer*. Setiap studi diidentifikasi dengan fokus pada perubahan kandungan serat pangan larut sebelum dan setelah melalui proses ekstrusi.

Kata kunci yang digunakan dalam pencarian literatur yaitu “*dietary fiber*”, “*cooking extrusion*”, dan “*physicochemical properties*” yang dikombinasikan dengan *Boolean language*. Hasil pencarian pada kata kunci yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan pada judul dan abstrak. Selanjutnya, pada studi

yang relevan teks lengkap akan dicek secara keseluruhan untuk menentukan kelayakannya. Hasil dari pencarian literatur pada studi meta-analisis ini dirangkum berdasarkan pada metode PRISMA.

Data pada setiap artikel terpilih ditabulasikan dalam Microsoft Excel. Data yang diinput meliputi penulis, tahun publikasi, sampel yang digunakan, kondisi proses (suhu dan kecepatan ulir) serta kandungan serat pangan larut. Data serat pangan yang diekstrak yaitu nilai rata-rata, standar deviasi dan jumlah ulangan kelompok kontrol dan eksperimen.

Pengolahan data meta-analisis dilakukan menggunakan aplikasi OpenMEE setelah diinput pada Microsoft Excel. Analisis data menggunakan nilai ukuran efek *Hedges'd* (*Standardized Mean Difference/SMD*) menggunakan nilai selang kepercayaan 95% (*Confidence interval/CI*) yang dikumpulkan pada model efek acak (*random effect model*). Data yang telah diinput dalam Microsoft Excel selanjutnya dihitung nilai S , J , d , Vd , Sd , W_d , $W_d \times d$, D_+ , Vd_+ , Sd_+ dan CI_+ menggunakan lembar kerja yang dikembangkan oleh Palupi *et al.* (2012) dan Affandi *et al.* (2020) yang dikutip pada Silitonga *et al.* (2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Sumber Studi

Pencarian artikel yang digunakan pada studi meta-analisis dilakukan di lima *database* jurnal internasional dan diperoleh sebanyak 1197 artikel. Seluruh artikel tersebut dilakukan penyeleksian berdasarkan duplikasi studi, artikel sejenis akan dieliminasi terlebih dahulu. Sebanyak 88 artikel ditemukan pada seleksi duplikasi, selanjutnya dilakukan seleksi berdasarkan judul dan abstrak. Seleksi kedua dieliminasi sebanyak 1058. Tahap penyeleksian akhir, 51 artikel dikaji lebih lanjut dan disesuaikan berdasarkan penelitian yang dilakukan. Artikel yang memiliki data lengkap dipilih untuk dilakukan meta-analisis. Dari 51 artikel yang dikaji, diperoleh 13 artikel dengan data lengkap dan sesuai topik penelitian.

Studi yang terpilih hingga tahap akhir skrining menggunakan bahan beragam, yaitu dedak padi (Qiao *et al.* 2021), *laguna seeds* (Frias *et al.* 2011), *drum white bran by-product* (Esposito *et al.* 2005), *legume* dan beras (Arribas *et al.* 2019; Dilrukshi *et al.* 2022), *orange pomace powder* (Huang and Ma 2016), *soybean residue* (Jing and Chi 2013), *orange waste peel* (Khanpit *et al.* 2022), *lupin kernel fibre* (Naumann *et al.* 2021), *kinicha/ Amaranthus caudatus* (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009), *lupin seed coat* (Zhong *et al.* 2019), *barley* (Vasanthan *et al.* 2002), dan *oat bran* (Zhang *et al.* 2011).

Analisis *Overall Effect Size* Perubahan Serat Pangan Larut

Serat pangan larut pada sampel yang diekstraksi dievaluasi secara kuantitatif sebelum dan setelah melalui ekstrusi. Kandungan serat larut yang tinggi pada produk makanan menunjukkan kualitas produk yang baik. Proporsi serat larut setidaknya 10% untuk dinyatakan sebagai serat pangan berkualitas tinggi (Leitz dan Pusateri, 1989 dikutip dalam Guo *et al.* 2018). Hal ini dikarenakan serat larut memiliki peran fisiologis dalam menurunkan reaksi glikemik serta kolesterol pada plasma. Hasil meta-analisis pada

kandungan serat larut disajikan pada Tabel 1 dengan ukuran efek berupa *Standardized Mean Difference* (SMD).

Tabel 1. Analisis *overall effect size* dan heterogenitas pada perubahan serat larut

Parameter	N	SMD	(95% CI)		<i>p-value</i>	Heterogenitas	
			BB	BA		I ² (%)	<i>p-value</i>
Serat larut	86	3,845	3,215	4,476	< 0,001	78,52	< 0,001

Berdasarkan Tabel 1 hasil *overall effect size* pada kandungan serat larut bernilai positif dengan selang kepercayaan 95% CI tidak menyentuh sumbu efek nol dan nilai *p-value* < 0,001. Dengan *p-value* < 0,001 menunjukkan bahwa *overall effect size* tersebut sangat signifikan. Data tersebut dapat diartikan bahwa ekstrusi meningkatkan kandungan serat larut secara signifikan. Nilai heterogenitas (I²) pada Tabel 1 dengan persentase 78,52% dan *p-value* < 0,001 menunjukkan heterogenitas kategori sedang >75% (Higgins *et al.* 2003). Nilai heterogenitas menunjukkan variasi antarstudi yang disebabkan karakteristik beragam seperti jenis sampel dan perlakuan (Tatsioni dan Loannidis 2017).

Nilai *effect size* yang diperoleh sesuai dengan hasil penelitian yang ditemukan oleh Jing dan Chi 2013, kandungan serat larut pada residu kedelai mengalami peningkatan setelah ekstrusi dari 8,99% menjadi 10,88%. Khanpit *et al.* 2022 juga menemukan peningkatan serat larut dari 4,7% menjadi 24,28% pada sampel jeruk yang diekstrusi. Peningkatan serat larut kemungkinan disebabkan oleh adanya tegangan geser disertai kecepatan ulir dan suhu yang tinggi, sehingga terjadi pemutusan beberapa ikatan glikosidik dari serat tidak larut, sehingga terjadi transisi menjadi serat larut (Repo-Carrasc-Valencia *et al.* 2009; Qiao *et al.* 2021). Ekstrusi dapat mendukung pemecahan ikatan glikosidik polisakarida dan pelepasan oligosakarida, kemungkinan diakibatkan oleh tekanan mekanis (Esposito *et al.* 2005). Perubahan serat larut tersebut dipengaruhi oleh kombinasi kondisi ekstrusi, seperti suhu dan kecepatan ulir (Arribas *et al.* 2017). Proses ekstrusi mengganggu struktur dinding sel akibat laju geser dan suhu, terjadinya gangguan terhadap ikatan kovalen dan nonkovalen, sehingga fragmen molekul lebih kecil dan lebih larut (Zhang *et al.* 2018; Gan *et al.* 2021). Penggunaan kondisi ekstrusi yang tepat dapat meningkatkan serat pangan. Akan tetapi, apabila suhu maupun kecepatan ulir terlalu tinggi dapat menurunkan kandungan serat larut pada bahan yang diekstrusi. Kondisi ekstrusi terlalu tinggi menyebabkan bahan terbakar dan terjadi penggumpalan di dalam ulir ekstruder (Jing dan Chi 2013).

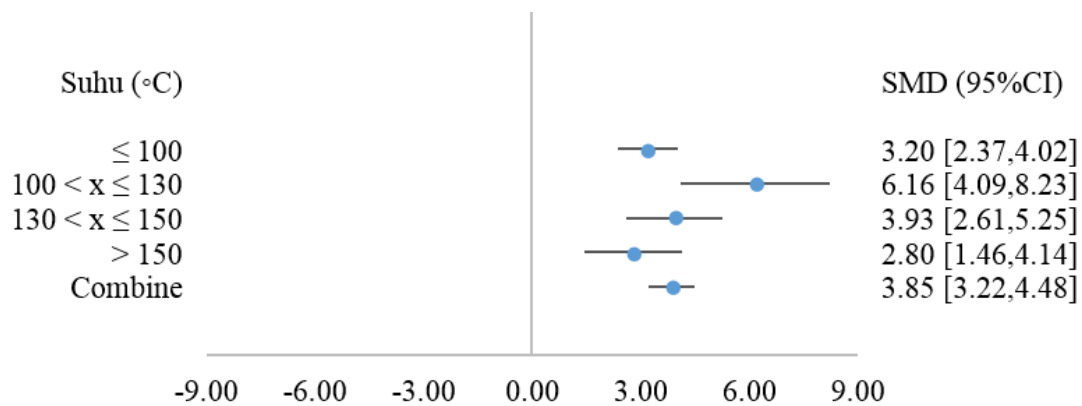
Analisis Subkelompok Suhu dan Kecepatan Ulir terhadap Perubahan Serat Pangan Larut

Analisis subkelompok dilakukan pada kondisi proses ekstrusi meliputi suhu dan kecepatan ulir. Hasil analisis disajikan pada tabel dan *forest plot* berikut ini:

Tabel 2. Analisis subkelompok suhu (°C) terhadap perubahan serat larut

Suhu (°C)	Effect Size	LL 95%CI	UL 95%CI	p-value
≤ 100	3,20	2,37	4,02	< 0,001
100 < x ≤ 130	6,16	4,09	8,23	< 0,001
130 < x ≤ 150	3,93	2,61	5,25	< 0,001

> 150	2,80	1,46	4,14	< 0,001
Combine	3,85	3,22	4,48	< 0,001

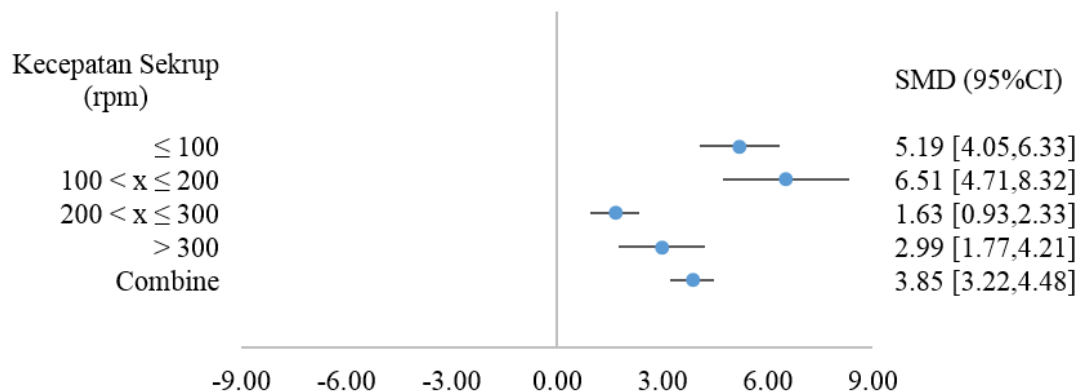


Gambar 1. *Forest plot* analisis subkelompok suhu (°C) terhadap perubahan serat larut

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 1, *effect size* menunjukkan nilai positif pada semua kategori. Dimana *effect size* secara keseluruhan yaitu 3,85 dengan *p-value* < 0,001. Hal ini bermakna bahwa suhu pada proses ekstrusi mempengaruhi peningkatan serat larut secara signifikan. Dari Tabel 2 dan Gambar 1, suhu dengan peningkatan serat larut maksimum yaitu pada kategori $100 < x \leq 130^{\circ}\text{C}$. Ketika suhu mulai ditingkatkan, terlihat terjadi penurunan serat larut. Sejalan dengan hasil penelitian Zhong *et al.* (2021) yang mana terjadi penurunan serat larut dari 9,57% menjadi 7,55% ketika meningkatkan suhu ekstrusi dari 120°C menjadi 150°C .

Tabel 3. Analisis subkelompok kecepatan ulir (rpm) terhadap perubahan serat larut

Kecepatan ulir (rpm)	Effect Size	LL 95%CI	UL 95%CI	p-value
≤ 100	5,19	4,05	6,33	< 0,001
100 < x ≤ 200	6,51	4,71	8,32	< 0,001
200 < x ≤ 300	1,63	0,93	2,33	< 0,001
> 300	2,99	1,77	4,21	< 0,001
Combine	3,85	3,22	4,48	< 0,001



Gambar 2 *Forest plot* analisis subkelompok kecepatan ulir (rpm) terhadap perubahan serat larut

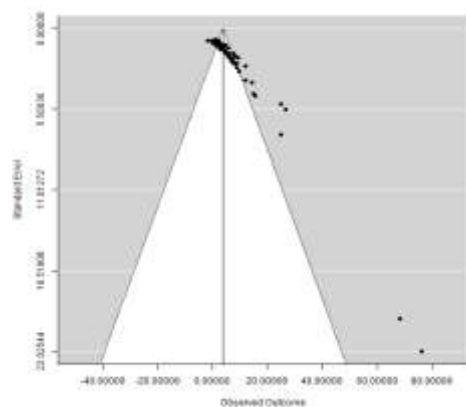
Tabel 3 dan Gambar 2 menunjukkan hasil analisis subkelompok kecepatan ulir terhadap peningkatan serat larut. Secara keseluruhan nilai *effect size* yang diperoleh yaitu positif 3,85 dengan *p-value*

$< 0,001$. Data ini menunjukkan bahwa kecepatan ulir pada ekstrusi dapat menyebabkan peningkatan serat larut secara signifikan. Kecepatan ulir yang menyebabkan peningkatan serat larut maksimum terjadi pada kategori $100 < x \leq 200$ rpm, dengan nilai *effect size* 6,51. Ketika kecepatan mulai ditingkatkan, data menunjukkan terjadinya penurunan kandungan serat larut. Qiao *et al.* (2021) menemukan kandungan serat larut menurun pada kecepatan ulir >180 rpm. Zhong *et al.* (2021) juga menemukan penurunan serat larut dari 8.99% menjadi 6.73% pada kecepatan ulir yang ditingkatkan dari 265 rpm menjadi 350 rpm. Hal tersebut kemungkinan disebabkan peningkatan kecepatan ulir lebih tinggi dapat menghasilkan tekanan, gesekan dan gaya geser lebih tinggi antara bahan dan ulir, sehingga mempercepat degradasi serat pangan (Qiao *et al.* 2021; Guo *et al.* 2018).

Analisis Bias Publikasi

Bias publikasi dapat diketahui dengan mengamati hasil analisis pada *funnel plot*. Bias publikasi dapat divisualisasikan melalui kekurangan grafis studi primer (bidang trapesium), yang umumnya dikaitkan dengan hasil negatif dan/atau n kecil. Dengan demikian, semakin dekat plot corong dengan bentuk piramida, semakin lemah bias publikasi (Suchmacher dan Geller 2012). Studi yang lebih kecil cenderung rentan terhadap bias publikasi daripada yang besar, perbedaan inilah yang dapat dideteksi dengan *funnel plot* (Lee dan Hotof 2012). Pada *funnel plot* dapat dilihat bahwa parameter serat pangan larut sedikit asimetri.

Umumnya bias terjadi disebabkan laporan hasil dan analisis secara selektif, seperti menyajikan data yang paling menguntungkan (Tatsioni dan Loannidis 2017). Hasil *funnel plot* yang simetris menunjukkan bahwa tidak adanya bias publikasi (Plonsky dan Oswald, 2012).



KESIMPULAN

Kondisi proses ekstrusi yang meliputi suhu dan kecepatan ulir memiliki peran utama dalam memecah ikatan glikosidik pada serat pangan, sehingga terjadi pemecahan serat pangan tidak larut menjadi serat pangan larut. Parameter suhu kategori $100 < x \leq 130^{\circ}\text{C}$ memberikan peningkatan serat pangan larut secara maksimum, tetapi apabila suhu terlalu tinggi $>150^{\circ}\text{C}$, dapat menyebabkan bahan terbakar dalam ekstrusi, sehingga tidak efektif dalam meningkatkan serat pangan larut. Kondisi kecepatan

ulir juga menunjukkan pengaruh signifikan dalam meningkatkan serat pangan larut. Kondisi kecepatan ulir pada selang $100 < x \leq 200$ rpm dapat memberikan peningkatan serat pangan larut maksimum. Tetapi jika dilakukan peningkatan kecepatan ulir, tidak menyebabkan perubahan yang signifikan dikarenakan waktu tinggal bahan singkat. Dengan demikian, kombinasi parameter tersebut dapat digunakan dalam meningkatkan kualitas serat pangan menjadi dengan kandungan serat pangan larut melalui pemecahan ikatan glikosidik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi FA, Wijaya CH, Faridah DN, Suyatma NE, Jayanegara A. 2021. Evaluation of various starchy foods: A systematic review and meta-analysis on chemical properties affecting the glycemic index values based on in vitro and in vivo experiments. *Foods*. 10(2).doi:10.3390/foods10020364.
- Arribas C, Cabellos B, Cuadrado C, Guillamón E, Pedrosa MM. 2019. Extrusion effect on proximate composition, starch and dietary fibre of ready-to-eat products based on rice fortified with carob fruit and bean. *Lwt*. 111(May):387–393.doi:10.1016/j.lwt.2019.05.064.
- Arribas C, Cabellos B, Sánchez C, Cuadrado C, Guillamón E, Pedrosa MM. 2017. The impact of extrusion on the nutritional composition, dietary fiber and in vitro digestibility of gluten-free snacks based on rice, pea and carob flour blends. *Food Funct*. 8(10):3654–3663.doi:10.1039/c7fo00910k.
- Dilrukshi HN, Torrico DD, Brennan MA, Brennan CS. 2022. Effects of extrusion processing on the bioactive constituents, in vitro digestibility, amino acid composition, and antioxidant potential of novel gluten-free extruded snacks fortified with cowpea and whey protein concentrate. *Food Chem*. 389:133107.doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133107.
- Esposito F, Arlotti G, Maria Bonifati A, Napolitano A, Vitale D, Fogliano V. 2005. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Res. Int*. 38(10):1167–1173.doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.05.002.
- Faridah DN, Damaiyanti S, Indrasti D, Jayanegara A, Afandi FA. 2022. Effect of heat moisture treatment on resistant starch content among carbohydrate sources: a meta-analysis. *Int. J. Food Sci. Technol*. 57(4):1965–1974.doi:10.1111/ijfs.15276.
- Frias J, Giacomino S, Peñas E, Pellegrino N, Ferreyra V, Apro N, Carrión MO, Vidal-Valverde C. 2011. Assessment of the nutritional quality of raw and extruded *Pisum sativum* L. var. laguna seeds. *LWT - Food Sci. Technol*. 44(5):1303–1308.doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.025.
- Gan J, Xie L, Peng G, Xie J, Chen Y, Yu Q. 2021. Systematic review on modification methods of dietary fiber. *Food Hydrocoll*. 119(April):106872.doi:10.1016/j.foodhyd.2021.106872.
- Guo Y, Liu W, Wu B, Wu P, Duan Y, Yang Q, Ma H. 2018. Modification of garlic skin dietary fiber with twin-screw extrusion process and in vivo evaluation of Pb binding. *Food Chem*. 268(March):550–557.doi:10.1016/j.foodchem.2018.06.047.

- Gurevitch J, Koricheva J, Nakagawa S, Stewart G. 2018. Meta-analysis and the science of research synthesis. *Nature*. 555(7695):175–182.doi:10.1038/nature25753.
- Higgins JPT, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. 2003. Measuring inconsistency in meta-analyses. *Br Med J*. 327(7414):557–560. doi:10.1136/bmj.327.7414.557
- Huang Y-L, Ma Y-S. 2016. The effect of extrusion processing on the physiochemical properties of extruded orange pomace. *Food Chem.* 192:363–369.doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.039.
- Jia M, Chen J, Liu X, Xie M, Nie S, Chen Y, Xie J, Yu Q. 2019. Structural characteristics and functional properties of soluble dietary fiber from defatted rice bran obtained through *Trichoderma viride* fermentation. *Food Hydrocoll.* 94(January):468–474.doi:10.1016/j.foodhyd.2019.03.047.
- Jing Y, Chi Y-J. 2013. Effects of twin-screw extrusion on soluble dietary fibre and physicochemical properties of soybean residue. *Food Chem.* 138(2):884–889.doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.003.
- Khanpit V V., Tajane SP, Mandavgane SA. 2022. Orange waste peel to high value soluble dietary fiber concentrate: comparison of conversion methods and their environmental impact. *Biomass Convers. Biorefinery*..doi:10.1007/S13399-022-02481-6.
- Lee W, Hotopf M. 2012. *Critical appraisal: Reviewing scientific evidence and reading academic papers*. Ed ke-3. Elsevier Ltd.
- Li H, Long D, Peng J, Ming J, Zhao G. 2012. A novel in-situ enhanced blasting extrusion technique — Extrudate analysis and optimization of processing conditions with okara. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 16:80–88.doi:https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.04.009.
- Naumann S, Schweiggert-Weisz U, Martin A, Schuster M, Eisner P. 2021. Effects of extrusion processing on the physiochemical and functional properties of lupin kernel fibre. *Food Hydrocoll.* 111:106222.doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106222.
- Palupi E, Jayanegara A, Kahl J. 2012. Comparison of nutritional quality between conventional and organic dairy products : a meta-analysis. (November 2011):2774–2781.doi:10.1002/jsfa.5639.
- Plonsky L, Oswald FL. 2012. How to do a Meta-Analysis. *Res. Methods Second Lang. Acquis. A Pract. Guid.*:275–295.doi:10.1002/9781444347340.ch14.
- Qiao C-C, Zeng F-K, Wu N-N, Tan B. 2021. Functional, physicochemical and structural properties of soluble dietary fiber from rice bran with extrusion cooking treatment. *Food Hydrocoll.* 121:107057.doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107057.
- Qiao H, Shao H, Zheng X, Liu Jiawen, Liu Jiaqi, Huang J, Zhang C, Liu Z, Wang J, Guan W. 2021. Modification of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) residues soluble dietary fiber following twin-screw extrusion. *Food Chem.* 335(July 2020):127522.doi:10.1016/j.foodchem.2020.127522.

- Repo-Carrasco-Valencia R, Peña J, Kallio H, Salminen S. 2009. Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *J. Cereal Sci.* 49(2):219–224.doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.10.003>.
- Silitonga RF, Faridah DN, Indrasti D, Afandi FA, Jayanegara A. 2021. Kadar Pati Resisten Pangan Tinggi Karbohidrat Hasil Autoclaving-Cooling 2 Siklus: Studi Meta-Analisis. *War. Ind. Has. Pertan.* 38(1):79.doi:10.32765/wartaihp.v38i1.6987.
- Suchmacer M & Geller M. 2012. Systematic reviews and meta-analyses. *Evid. Ment. Heal. Care.*:53–59.doi:10.1016/B978-0-12-415794-1.00013-6.
- Tatsioni A, Ioannidis JPA. 2016. Meta-analysis. *Elsevier.* 2(5): 117-124. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00291-5>.
- Tawfik GM, Agus K, Dila S, Yousif M, Mohamed F. 2019. A step by step guide for conducting a systematic review and meta-analysis with simulation data. 6:1–9.
- Vasanthan T, Gaosong J, Yeung J, Li J. 2002. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chem.* 77(1):35–40.doi:[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00318-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00318-1).
- Zhang M, Bai X, Zhang Z. 2011. Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran. *J. Cereal Sci.* 54(1):98–103.doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.04.001>.
- Zhong L, Fang Z, Wahlqvist ML, Hodgson JM, Johnson SK. 2019. Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat. *LWT.* 99:547–554.doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.018>.
- Zhong L, Fang Z, Wahlqvist ML, Hodgson JM, Johnson SK. 2021. Multi-response surface optimisation of extrusion cooking to increase soluble dietary fibre and polyphenols in lupin seed coat. *LWT.* 140:110767.doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110767>.
- Zhang H, Wang H, Cao X, Wang J. 2018. Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. *Food Res. Int.* 113(June):24–35.doi:10.1016/j.foodres.2018.06.068.