

4. PEMBAHASAN

4.1. Tekstur

4.1.1. Kekerasan (*Hardness*)

Hardness diartikan sebagai jumlah gaya yang dibutuhkan untuk menekan sampel pada tekanan pertama. Semakin besar gaya untuk menekan sampel menunjukkan sampel yang semakin keras saat akan digigit (Gao *et al.*, 2015). Pada penelitian kali ini, sampel ditekan hingga 50% dari tinggi awal dan kekerasan dinyatakan dalam satuan kgf.

Penambahan κ -karagenan ke dalam isolat protein kedelai akan meningkatkan nilai *hardness*-nya (Gao *et al.*, 2015). Pada tabel 19 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam CaCl_2 dan nilai pH yang sama, nilai *hardness* akan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi κ -karagenan. Ketika adonan dipanaskan, terjadi proses pembentukan gel dimana molekul κ -karagenan akan membentuk jaringan tiga dimensi yang memerangkap air sehingga gel yang terbentuk menjadi lebih kaku dan padat (Saha & Bhattacharya, 2010). Kombinasi dari ion Ca^{2+} dengan κ -karagenan akan menghasilkan gel yang lebih kaku dan *brittle* (Therkelsen, 1993).

Pada gambar 15 dan 16 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam CaCl_2 tinggi (3%) dan pada nilai pH tinggi (7,8-8), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren parabolik yang memiliki nilai *hardness* tertinggi pada konsentrasi 4-5%, sedangkan pada konsentrasi garam CaCl_2 rendah (1%) dan pada nilai pH rendah (6,4-6,6), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren parabolik yang berpuncak pada konsentrasi 5-5,5%. Penambahan κ -karagenan akan meningkatkan *hardness* dari gel saat kandungan garam rendah (Matulis *et al.*, 1995). Menurut Therkelsen (1993), kekuatan pembentukan gel κ -karagenan sangat tergantung dari konsentrasi karagenan dan juga konsentrasi kation. Konsentrasi κ -karagenan yang kurang dan konsentrasi kation berlebihan menyebabkan gel yang terbentuk menjadi lebih lunak.

Pada tabel 19 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan dan nilai pH yang sama, *hardness* dari gel isolat protein semakin rendah seiring naiknya konsentrasi garam CaCl_2 . Pada gambar 15 dan 17 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3%)

maupun tinggi (6%) dan nilai pH rendah (6,4) maupun tinggi (8), perubahan konsentrasi garam CaCl_2 akan menghasilkan tren *hardness* cenderung linier dimana semakin tinggi konsentrasi garam CaCl_2 , nilai *hardness* akan semakin rendah. Menurut Maltais *et al.* (2005), semakin tinggi konsentrasi garam CaCl_2 dalam gel isolat protein kedelai menyebabkan meningkatnya ukuran agregat. Puppo & Añón (1999) menambahkan bahwa semakin banyak garam yang ditambahkan menyebabkan semakin banyak terbentuknya matriks terbuka. Semakin tinggi garam akan menyebabkan semakin besarnya gaya tolak menolak antar protein sehingga menghasilkan struktur gel yang lebih *coarse* (Li *et al.*, 2017). Hal tersebut berdampak pada tekstur gel yang cenderung lebih basah dan tidak padat.

Pada tabel 19 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan dan garam CaCl_2 yang sama, nilai pH yang lebih tinggi memiliki nilai *hardness* yang lebih tinggi. Menurut Puppo & Añón (1998), semakin jauh suatu protein dari titik isoelektriknya, maka gel yang terbentuk akan semakin stabil. Xiong *et al.* (1999) menambahkan bahwa ketika pH semakin tinggi terbentuk keseimbangan interaksi elektrostatik antara protein dengan hidrokoloid yang menyebabkan gel yang dihasilkan lebih padat. Pada gambar 16 dan 17 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3%), perubahan pH akan menghasilkan tren parabolik yang berpuncak pada nilai pH 7,8-8 dan 6,4, sedangkan pada konsentrasi κ -karagenan tinggi (6%) dan konsentrasi garam CaCl_2 rendah (1%), perubahan pH akan menghasilkan tren parabolik yang berpuncak pada nilai pH 6,4. Pada konsentrasi garam CaCl_2 tinggi (3%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren parabolik yang memiliki nilai *hardness* tertinggi pada nilai pH 6,4 dan 8. Berdasarkan penelitian Verheul & Roefs (1998), ada korelasi antara nilai pH dan konsentrasi garam terhadap *hardness* gel protein. *Hardness* gel protein akan turun seiring dengan bertambahnya konsentrasi garam, tetapi akan meningkat ketika pH diturunkan dari 8 ke 6-6,5.

4.1.2. Cohesiveness

Cohesiveness merupakan rasio area tekanan antara dua penekanan dan menggambarkan tingkat dimana bahan dapat dihancurkan secara mekanis yang mengindikasikan kekuatan

ikatan internal sampel. *Cohesiveness* tidak memiliki satuan karena merupakan rasio (Gao *et al.*, 2015).

Pada tabel 20 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam CaCl_2 dan nilai pH yang sama, nilai *cohesiveness* akan semakin tinggi seiring bertambahnya konsentrasi κ -karagenan. Pada gambar 18 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam rendah (1%), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren cenderung linier dimana semakin tinggi konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan nilai *cohesiveness* yang lebih tinggi, sedangkan pada konsentrasi garam tinggi (3%), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren parabolik yang memiliki nilai *cohesiveness* paling tinggi pada konsentrasi κ -karagenan 4-5%. Penambahan κ -karagenan akan meningkatkan *cohesiveness* pada kandungan garam yang rendah. Ketika kandungan garam tinggi, penambahan κ -karagenan tidak akan memberikan efek yang signifikan pada *cohesiveness* dari gel (Matulis *et al.*, 1995). Pada gambar 19 dapat dilihat bahwa pada nilai pH rendah (6,4-6,6), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren parabolik yang berpuncak pada konsentrasi 4,5-5,5, sedangkan pada nilai pH tinggi (8), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren linier dengan nilai *cohesiveness* tertinggi pada konsentrasi 5,5-6%. Penambahan κ -karagenan akan meningkatkan *cohesiveness* dari gel (Pietrasik & Li-Chan, 2002). κ -karagenan akan mengikat air bebas dalam adonan sehingga gel yang terbentuk akan semakin padat dan kompak (Matulis *et al.*, 1995).

Pada tabel 20 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan dan nilai pH yang sama, nilai *cohesiveness* akan meningkat seiring bertambahnya konsentrasi garam CaCl_2 walaupun pada konsentrasi κ -karagenan 6%, kenaikan nilai *cohesiveness* tidak signifikan. Pada gambar 18 dan 20 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3-3,5%) dan pada pH tinggi (8), perubahan konsentrasi garam CaCl_2 akan menghasilkan tren parabolik yang memiliki nilai *cohesiveness* tertinggi pada konsentrasi garam 3%. Menurut Hsu & Chung (2001), penambahan garam meningkatkan *cohesiveness* produk. Di atas titik isoelektrik protein, ion Ca^{2+} akan membentuk jembatan antara gugus karboksil protein yang bermuatan negatif dengan gugus ester sulfat dari karagenan. Hal ini menyebabkan gel yang dihasilkan akan semakin kompak (Abd Karim *et al.*, 1999).

Pada gambar 18 dan 20, gel dengan konsentrasi κ -karagenan tinggi (5-6%) dan pH rendah (6,4), perubahan konsentrasi garam CaCl_2 akan menghasilkan tren parabolik yang memiliki nilai *cohesiveness* tertinggi pada konsentrasi garam 1% dan 3%. Menurut Gómez-Guillén & Montero (1996), ketika hidrokoloid ditambahkan bersama dengan protein non-hewani, gel yang terbentuk memiliki *cohesiveness* yang lebih tinggi baik pada konsentrasi garam rendah maupun tinggi.

Pada tabel 20 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan dan garam CaCl_2 yang sama, sampel dengan pH yang lebih tinggi memiliki nilai *cohesiveness* yang lebih tinggi. Pada gambar 19 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan tinggi (5,5-6%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren parabolik yang memiliki nilai *cohesiveness* tertinggi pada nilai pH 8. Pada gambar 19 dan 20 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3%) dan pada konsentrasi garam rendah (1%) maupun tinggi (3%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren parabolik yang memiliki nilai *cohesiveness* tertinggi pada nilai pH 6,4-6,6 dan 8. Hal ini dapat terjadi karena konsentrasi garam CaCl_2 dan κ -karagenan yang lebih rendah sehingga keseimbangan interaksi elektrostatik belum terjadi (Yuan *et al.*, 2002).

4.1.3. Kekenyalan (*Springiness*)

Springiness didefinisikan sebagai kemampuan sampel untuk dapat kembali ke bentuk semula antara penekanan pertama dan penekanan kedua. *Springiness* menggambarkan tingkat keelastisan suatu sampel. Semakin cepat dan baik sampel kembali ke bentuk semula, semakin besar nilai *springiness* sampel (Pons & Fiszman, 1996). Satuan dari *springiness* adalah mm (Gao *et al.*, 2015).

Pada tabel 21 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam CaCl_2 dan pH yang sama, gel dengan konsentrasi κ -karagenan lebih tinggi cenderung memiliki nilai *springiness* yang lebih besar. Pada gambar 21 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam tinggi (3%), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada konsentrasi κ -karagenan 6%. Pada gambar 22 dapat dilihat bahwa pada nilai pH rendah (6,4) maupun tinggi (8), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada konsentrasi 6%.

Menurut Ardianti *et al.* (2014), semakin tinggi konsentrasi κ -karagenan yang ditambahkan, gel yang dihasilkan akan semakin kenyal. Hal ini dikarenakan κ -karagenan akan menghasilkan gel yang lebih kenyal ketika berikatan dengan kation. κ -karagenan dapat memerangkap air dalam jaringan tiga dimensi yang terbentuk. Baeza *et al.* (2002) menambahkan bahwa meningkatnya konsentrasi κ -karagenan akan mengurangi jumlah air bebas dan membantu pembentukan interaksi inter- maupun intra-heliks sehingga gel yang terbentuk akan semakin kuat dan *springiness*-nya pun meningkat. Pada gambar 21 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam rendah (1%), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada konsentrasi κ -karagenan 3% dan 6%. Menurut penelitian Shand *et al.* (1994), pada konsentrasi garam yang rendah, penambahan κ -karagenan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tingkat kekerasan dan kekenyalan produk.

Pada tabel 21 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan dan pH yang sama, gel dengan konsentrasi garam CaCl_2 lebih tinggi memiliki nilai *springiness* yang lebih besar. Pada gambar 21 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3%), perubahan konsentrasi garam akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada konsentrasi garam 2%, sedangkan pada konsentrasi κ -karagenan tinggi (6%), perubahan konsentrasi garam akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada konsentrasi 2-2,5%.

Pada gambar 23 dapat dilihat bahwa pada nilai pH rendah (6,4-6,6), perubahan konsentrasi garam akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada konsentrasi garam 2-2,5%. Penambahan garam CaCl_2 akan menyebabkan terbentuknya jembatan kalsium antara ion Ca^{2+} dengan gugus karboksil protein yang bermuatan negatif dengan gugus ester sulfat dari karagenan. Hal ini menyebabkan gel yang dihasilkan akan semakin kompak dan dapat kembali ke bentuk semula (Abd Karim *et al.*, 1999). Xu *et al.* (2017) menambahkan bahwa konsentrasi garam yang semakin tinggi akan mempercepat pembentukan gel dan meningkatkan interaksi intermolekuler pada gel sehingga meningkatkan *springiness* dari gel. Pada gambar 23 dapat dilihat bahwa pada nilai pH tinggi (8), perubahan konsentrasi garam akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada konsentrasi garam 1,5-2%. Pada saat

nilai pH gel jauh dari titik isoelektriknya, terjadi interaksi protein–air yang membantu rantai polipeptida terpisah sehingga membentuk matriks yang homogen. Konsentrasi garam yang rendah dengan nilai pH yang semakin jauh dari titik isoelektriknya akan menghasilkan gel yang semakin halus dan lebih kompak (Puppo & Añón, 1998).

Pada tabel 21 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan yang sama dengan konsentrasi garam CaCl_2 3%, gel dengan pH yang lebih tinggi cenderung memiliki nilai *springiness* lebih rendah. Pada gambar 23 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam tinggi (3%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada pH 6,4. Kadar garam yang tinggi dan nilai pH yang lebih tinggi akan menyebabkan nilai *springiness* yang lebih rendah karena kadar garam dan nilai pH akan mempengaruhi kelenturan molekul protein dan ikatan antara granula-granula protein menjadi lebih longgar (Xu *et al.*, 2017). Pada konsentrasi κ -karagenan yang sama dengan konsentrasi garam CaCl_2 1% dan 2%, gel dengan pH yang lebih tinggi memiliki nilai *springiness* yang lebih tinggi. Pada gambar 23 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam rendah (1%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren linier dimana semakin tinggi nilai pH akan meningkatkan nilai *springiness*. Konsentrasi garam yang rendah akan menstabilkan struktur protein dengan menstabilkan interaksi hidrofobiknya (Alting *et al.*, 2003). Pada saat nilai pH gel jauh dari titik isoelektriknya, terjadi interaksi protein–air yang membantu rantai polipeptida terpisah sehingga membentuk matriks yang homogen. Konsentrasi garam yang rendah dengan nilai pH yang semakin jauh dari titik isoelektriknya akan menghasilkan gel yang semakin halus dan lebih kompak (Puppo & Añón, 1998). Pada gambar 22 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada nilai pH 6,4 dan 8, sedangkan pada konsentrasi κ -karagenan tinggi (6%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai *springiness* tertinggi pada pH 8. Menurut Schmitt *et al.* (1998), kekuatan gel dipengaruhi oleh pH dan kandungan polisakarida dimana pada konsentrasi polisakarida yang tinggi akan terbentuk gel dari karagenan itu sendiri. Hal ini menghasilkan gel yang lebih kompak dan kuat.

4.2. *Water Holding Capacity (WHC)*

Pengujian WHC dilakukan untuk mengukur kemampuan sampel untuk menahan seluruh atau sebagian air yang ada atau yang ditambahkan. Pada penelitian kali ini, pengujian WHC dilakukan dengan memberikan gaya mekanik pada sampel yaitu dengan menekan sampel menggunakan beban (FPPM). Dengan menggunakan metode FPPM, jumlah air yang keluar akan lebih banyak dibandingkan metode tanpa pemberian gaya eksternal. Hal ini dikarenakan adanya gaya yang diberikan pada sampel akan memaksa air yang terdapat di dalam maupun di luar jaringan keluar (Honikel & Hamm, 1994). Pada penelitian ini, hasil yang didapatkan berupa nilai % WHC dimana semakin tinggi nilai % WHC maka jumlah air yang dikeluarkan semakin sedikit yang menggambarkan bahwa kemampuan mengikat air sampel semakin baik.

Pada tabel 22 dapat dilihat bahwa pada pada konsentrasi garam CaCl_2 dan nilai pH yang sama, gel dengan penambahan κ -karagenan lebih tinggi cenderung memiliki % WHC yang lebih kecil. Pada gambar 25 dapat dilihat bahwa pada nilai pH rendah (6,4), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren linier dimana semakin tinggi konsentrasi κ -karagenan, semakin rendah nilai WHC. Kemampuan κ -karagenan dalam mengikat air dapat dipengaruhi oleh interaksi karagenan–air atau interaksi karagenan–protein–air yang tergantung dari pH, konsentrasi, kekuatan ionik, keberadaan komponen lain, dan lain-lain (Candogan & Kolsarici, 2003). Hasil penelitian yang didapat didukung dengan penelitian Rey & Labuza (1981) dimana semakin tinggi konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan gel yang lebih kuat dengan adanya ikatan hidrogen. Hal tersebut menyebabkan berkurangnya ikatan polimer– H_2O hidrogen sehingga kemampuan mengikat air menjadi berkurang.

Pada gambar 24 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam rendah (1%), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai WHC tertinggi pada konsentrasi κ -karagenan 3-4%, sedangkan pada konsentrasi garam tinggi (3%), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai WHC tertinggi pada konsentrasi κ -karagenan 4,5-5%. Menurut Hu *et al.* (2017) pada konsentrasi garam yang tinggi, interaksi antara air dengan ion garam akan meningkat yang kemudian menyebabkan protein menjadi dehidrasi dan WHC akan menurun.

Konsentrasi κ -karagenan yang lebih tinggi lebih membantu protein dalam menahan air sehingga WHC-nya akan lebih baik. Pada gambar 25 dapat dilihat bahwa pada nilai pH tinggi (8), perubahan konsentrasi akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai WHC tertinggi pada konsentrasi κ -karagenan 5%. Menurut penelitian DeFreitas *et al.* (1997), pada pH yang tinggi, penambahan κ -karagenan akan meningkatkan kemampuan mengikat air dari protein.

Pada tabel 22 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan dan nilai pH yang sama, gel dengan penambahan garam CaCl_2 lebih tinggi memiliki % WHC yang lebih tinggi. Pada gambar 24 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3-4%) maupun tinggi (6%), perubahan konsentrasi garam akan menghasilkan tren linier dimana semakin tinggi konsentrasi garam, nilai WHC akan semakin tinggi. Pada gambar 26 dapat dilihat bahwa pada nilai pH rendah (6,4), perubahan konsentrasi garam CaCl_2 akan menghasilkan tren linier dimana semakin tinggi konsentrasi garam CaCl_2 , nilai WHC akan semakin tinggi, sedangkan pada nilai pH tinggi (8), perubahan konsentrasi garam CaCl_2 akan menghasilkan tren WHC yang cenderung konstan dimana nilai WHC tertinggi dihasilkan pada konsentrasi garam 2,5-3%. Pengaruh dari garam terhadap kemampuan mengikat air sangat dipengaruhi oleh nilai pH protein (Kristinsson & Hultin, 2003). Garam dapat meningkatkan jumlah ion bermuatan yang dapat berinteraksi dengan molekul protein yang bermuatan, selain itu garam juga dapat membebaskan lebih banyak gugus reaktif protein untuk mengikat air (Hu *et al.*, 2017).

Pada tabel 22 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan dan garam CaCl_2 yang sama, gel dengan nilai pH yang lebih tinggi cenderung memiliki % WHC yang lebih rendah. Pada gambar 26 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam CaCl_2 tinggi (3%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai WHC pada nilai pH 6,4. Menurut Candogan & Kolsarici (2003), apabila gel protein memiliki pH yang semakin dekat dengan titik isoelektriknya, maka kemampuan dari protein tersebut untuk mengikat air akan berkurang. Puppo *et al.* (1995) menambahkan bahwa pada pH yang dekat dengan titik isoelektrik, interaksi protein–protein meningkat dan interaksi protein–air akan berkurang karena berkurangnya gaya tolak menolak elektrostatis. Pada gambar 25 dan 26 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3%) maupun tinggi

(6%) dan konsentrasi garam CaCl_2 rendah (1%) , perubahan nilai pH akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai WHC tertinggi pada pH 8. Pada kondisi asam, konsentrasi garam CaCl_2 yang tinggi akan membantu pembentukan matriks gel dengan rantai dari komponen protein (Puppo & Añón, 1998). Richardson & Jones (1987) menambahkan pada konsentrasi garam yang tinggi, semakin tinggi nilai pH maka semakin tinggi pula kemampuan protein dalam mengikat air. Protein yang lebih bengkak (*swell*) akan mengeluarkan air lebih banyak ketika diberikan gaya eksternal.

4.3. Viskositas Adonan

Viskositas merupakan suatu ukuran yang menyatakan kekentalan fluida. Viskositas menunjukkan ketahanan suatu fluida untuk mengalir sehingga semakin besar nilai viskositasnya maka semakin kental fluida tersebut (Apriani *et al.*, 2013). Semakin banyak padatan yang terlarut dalam fluida, semakin banyak molekul yang saling berikatan satu sama lain yang menyebabkan pergerakan dari molekul-molekul tersebut semakin terhambat (Saha & Bhattacharya, 2010). Viskositas pada larutan isolat protein kedelai dipengaruhi oleh berat molekul, ukuran partikel, suhu, pH, kekuatan ion, dan partikel yang terdispersi (Kinsella, 1979).

Semakin banyak κ -karagenan yang terlarut maka viskositas semakin tinggi (Saha & Bhattacharya, 2010). Pada tabel 23 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam CaCl_2 dan nilai pH yang sama, konsentrasi κ -karagenan yang lebih tinggi memiliki nilai viskositas lebih tinggi. Pada gambar 27 dan 28 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam rendah (1%) maupun tinggi (3%), dan nilai pH rendah (6,6) maupun tinggi (8), perubahan konsentrasi κ -karagenan akan menghasilkan tren linier dimana semakin tinggi konsentrasi κ -karagenan, semakin tinggi pula nilai viskositas. Hal ini dikarenakan κ -karagenan merupakan salah satu jenis hidrokoloid yang dapat meningkatkan kekentalan suatu larutan (Saha & Bhattacharya, 2010). Menurut Campo *et al.* (2009), viskositas dari karagenan dipengaruhi oleh konsentrasi, suhu, keberadaan molekul lain, jenis karagenan, dan berat molekulnya. Mekanisme dari peningkatan viskositas terbagi menjadi 2, yaitu: (i) interaksi antara rantai linier yang menyebabkan berkurangnya ruang bebas antarmolekul atau meningkatnya volume dari molekul; (ii) terbentuknya *cross-linking* antar rantai.

Viskositas akan meningkat seiring bertambahnya konsentrasi garam. Hal ini terjadi karena keberadaan garam akan memperkuat struktur integral dari protein akibat meningkatnya gaya inter-agregasi dalam suspensi (Chronakis, 1996). Pada tabel 23 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan dan pH yang sama, konsentrasi garam CaCl_2 yang lebih tinggi memiliki nilai viskositas yang lebih besar. Pada gambar 27 dan 29 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3%) maupun tinggi (6%), dan nilai pH rendah (6,6), perubahan konsentrasi garam CaCl_2 akan menghasilkan tren linier dimana semakin tinggi konsentrasi garam CaCl_2 , semakin tinggi nilai viskositas. Pada gambar 29, nilai pH yang tinggi (7,8-8) menunjukkan perubahan konsentrasi garam CaCl_2 akan menghasilkan tren viskositas yang cenderung konstan. Menurut Campo *et al.* (2009), pada mekanisme peningkatan viskositas yang disebabkan karena adanya interaksi antara rantai linier molekul, peningkatan konsentrasi makromolekul seperti κ -karagenan akan menyebabkan interaksi antar rantai. Tetapi dengan adanya kadar garam yang tinggi dapat menurunkan viskositas karena menurunnya gaya tolak menolak elektrostatis antar gugus sulfat. Hal ini dapat menyebabkan kenaikan viskositas yang tidak signifikan seiring meningkatnya konsentrasi garam CaCl_2 .

Menurut Ehninger & Pratt (1974), semakin tinggi pH dari fluida maka viskositasnya pun semakin tinggi karena pada pH yang lebih tinggi, kelarutan protein juga akan meningkat. Pada tabel 23 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan dan garam CaCl_2 yang sama, pH yang lebih tinggi memiliki nilai viskositas yang lebih besar. Pada gambar 28 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi κ -karagenan rendah (3%) maupun tinggi (6%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren yang cenderung linier dengan nilai viskositas tertinggi pada pH 7,6-8. Pada gambar 29 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi garam CaCl_2 rendah (1%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren yang cenderung linier dengan nilai viskositas tertinggi pada pH 7,8-8, sedangkan pada konsentrasi garam CaCl_2 tinggi (3%), perubahan nilai pH akan menghasilkan tren parabolik dengan nilai viskositas tertinggi pada nilai pH 7-7,4. Menurut Kinsella (1979) semakin banyak ion kalsium yang terlarut berpotensi menurunkan nilai viskositas. Hal ini dikarenakan disosiasi molekul 11S globulin menurun seiring meningkatnya kekuatan ionik larutan.

4.4. Prediction Profiler

Desirability merupakan nilai yang menggambarkan kemampuan percobaan memenuhi keinginan berdasarkan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir. Nilai *desirability* berkisar dari 0 hingga 1,0 dimana semakin mendekati 1,0 menunjukkan kemampuan percobaan untuk menghasilkan produk akhir semakin sempurna (Nurmiah *et al.*, 2013). Pada gambar 14 dapat dilihat bahwa *desirability* dari gel isolat protein kedelai dengan penambahan κ -karagenan, garam CaCl_2 , dan nilai pH adalah sebesar 0,154169. Grafik *desirability* untuk respons *hardness*, *cohesiveness*, dan WHC menunjukkan bahwa hasil yang didapat belum memenuhi nilai minimum dan maksimum *range target*.

Kombinasi konsentrasi κ -karagenan 4,5%, garam CaCl_2 2%, dan pH 7,31 diprediksikan akan menghasilkan nilai *hardness* sebesar 0,3468 kgf (Gambar 14). Nilai *hardness* tersebut masih jauh dari *range* nilai *hardness* daging sapi sebagai kontrol yaitu sebesar $0,918 \pm 0,030$ kgf. Menurut Hidayat *et al.* (2018) penggantian protein hewani dengan protein nabati masih belum dapat menyamai tingkat *hardness*-nya. Hal ini dapat terjadi karena adanya kandungan lemak yang berpengaruh pada *hardness* daging. *Hardness* daging dapat meningkat karena adanya destabilisasi emulsi akibat pemisahan air dan lemak dari matriks protein. Selain itu reaksi oksidasi protein dapat membentuk *cross-linking* antar protein dengan ikatan disulfida yang menyebabkan *hardness* akan meningkat.

Kombinasi konsentrasi κ -karagenan 4,5%, garam CaCl_2 2%, dan pH 7,31 diprediksikan akan menghasilkan nilai *cohesiveness* sebesar 0,2201 (Gambar 14). Nilai *cohesiveness* tersebut belum dapat menyamai *range* nilai *cohesiveness* daging sapi sebagai kontrol yaitu sebesar $0,413 \pm 0,039$. Menurut Baeza *et al.* (2002) kombinasi κ -karagenan dan protein yang kurang sesuai akan menyebabkan menurunnya nilai *cohesiveness* karena pada dasarnya κ -karagenan membentuk gel yang *brittle*.

Kombinasi konsentrasi κ -karagenan 4,5%, garam CaCl_2 2%, dan pH 7,31 diprediksikan akan menghasilkan nilai *springiness* sebesar 6,5831 mm (Gambar 14). Nilai *springiness* tersebut masih dalam *range* nilai *springiness* daging sapi sebagai kontrol yaitu sebesar $6,658 \pm 0,824$ mm.

Kombinasi konsentrasi κ -karagenan 4,5%, garam CaCl_2 2%, dan pH 7,31 diprediksi akan menghasilkan % WHC sebesar 46,885% (Gambar 14). Persentase WHC tersebut belum dapat menyamai *range* % WHC daging sapi sebagai kontrol yaitu sebesar $60,778 \pm 1,486\%$. Menurut Zayas (1997), protein hewani memiliki kemampuan mengikat air yang lebih baik dibandingkan protein nabati. Hal ini dapat dikarenakan tingginya nitrogen amida pada protein hewani.

Kombinasi konsentrasi κ -karagenan 4,5%, garam CaCl_2 2%, dan pH 7,31 diprediksikan akan menghasilkan nilai viskositas sebesar 58,462 Pa.s (Gambar 14). Nilai viskositas tersebut tidak berbeda jauh dengan nilai viskositas daging sapi sebagai kontrol yaitu sebesar $66,89 \pm 9,417$ Pa.s.

Nilai *hardness*, *cohesiveness*, dan WHC gel isolat protein kedelai masih belum dapat mereplikasi gel daging sapi. Menurut Asgar *et al.* (2010), dalam penggunaan isolat protein kedelai untuk mereplikasi gel daging perlu ditambahkan *texturizer* seperti *texturized vegetable protein* agar tekstur gel protein nabati dapat menyerupai gel protein hewani. *Texturized vegetable protein* merupakan sumber protein kualitas tinggi dan dapat menjadi alternatif protein hewani karena dapat mereplikasi tekstur dari protein hewani.