

4. PEMBAHASAN

Biji pala pada umumnya dapat diolah menjadi berbagai produk, salah satunya yakni minyak pala karena memiliki kandungan minyak sebesar 2-16%, dengan rata-rata *fixed oil* (minyak lemak) sekitar 25-40% (Rismunandar, 1990). Minyak pala biasa disebut dengan oleoresin, yang dapat diperoleh dengan cara mengekstraksi biji pala menggunakan pelarut organik. Kemudian pelarut yang ikut terekstrak diambil dengan cara evaporasi (Nurdjannah, 2007). Lemak yang ada pada oleoresin biji pala sebagian besar terdiri dari oleat trigliserida, asam linoleat, dan trimiristisin sebanyak 75%, serta miristisin sebesar 0,5-13 % (Guenther, 1987). Ekstraksi biji pala dengan pelarut heksan akan menghasilkan oleoresin yang memiliki kandungan lemak tinggi, sehingga berbentuk padat. Oleoresin ini disebut *nutmeg butter*, karena berbentuk padat seperti mentega. *Nutmeg butter* merupakan *fixed oil* semi padat aromatik, berwarna oranye, mencair pada suhu 45-51°C, dan tidak rusak oleh reaksi oksidasi serta memiliki bobot jenis sebesar 0,990-0,995 (Leung, 1985). Kandungan *fixed oil* pada *nutmeg butter* mengandung sebesar 25 – 40%. *Fixed oil* pada *nutmeg butter* mengandung 70 – 85% trimiristin. Trimiristin merupakan sebagian besar komponen penyusun *fixed oil* pada *nutmeg butter* berupa trigliserida asam miristat yang berwarna putih abu-abu kekuningan (Devi, 2009). Trimiristin dan miristisin pada *nutmeg butter* memiliki aktivitas sebagai antioksidan dan juga memiliki berbagai fungsi lain seperti anti inflammasi, anti diabet, anti bakteri, dan juga anti jamur. Selain itu, Trimiristin juga dapat diolah menjadi asam miristat dan miristil alkohol yang digunakan sebagai bahan pembuat komestika, detergen, maupun sabun (Asgarpanah et al., 2012).

Penelitian ini dilakukan dengan mengekstraksi biji pala terlebih dahulu menggunakan metode *Ultrasonic-assisted extraction* (UAE) yang berbantu gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik akan mempermudah proses ekstraksi senyawa organik pada biji pala dengan menggunakan pelarut organik seperti heksan, sehingga dapat berlangsung lebih cepat. Dinding sel dari bahan dipecah dengan getaran ultrasonik sehingga kandungan yang ada di dalamnya dapat keluar dengan mudah (Mason, 1990). Setelah di ekstraksi, dilakukan evaporasi sehingga didapatkan oleoresin berbentuk padat yang disebut *nutmeg butter*, kemudian *nutmeg butter* yang terbentuk di proses enkapsulasi menggunakan metode kristalisasi dengan sukrosa sebagai bahan penyalut.

Kristalisasi merupakan suatu teknik enkapsulasi yang membentuk partikel padatan dalam sebuah fase yang homogen. Pembentukan partikel padatan terjadi pada saat fase pembentukan kristal atau pada saat pemadatan suatu cairan pada titik leleh tertentu. Pengubahan laju pertumbuhan kristal dapat dilakukan dengan berbagai cara yakni dengan mengubah kecepatan kristalisasi, mengubah derajat supersaturasi yang dipengaruhi oleh perubahan temperature / suhu, penggunaan pelarut yang berbeda, serta kondisi pengadukan pada saat kristalisasi dilakukan (Mc Cabe et al., 1985). Proses kristalisasi dipengaruhi oleh bahan penyalut, yang berfungsi sebagai pelapis pembungkus partikel inti didalam suatu bahan yang berfungsi untuk melindungi bahan yang terlapis dari faktor-faktor yang dapat menurunkan kualitas bahan tersebut, atau menjaga kualitas bahan tersebut (Rosenberg *et al.*, 1988). Dalam penelitian ini, bahan yang disalut adalah nutmeg *butter*, dan bahan penyalutnya adalah gula (sukrosa), yang kemudian berbentuk kristal sukrosa yang berfungsi sebagai penyalut. Menurut Chandrayani (2002), gula sebagai penyalut dalam proses enkapsulasi dikarenakan gula memiliki sifat yang mudah mengkristal. Selain itu menurut penggunaan gula dapat memperpanjang umur simpan makanan, dapat diterima konsumen, serta meningkatkan penggunaan gula.

Rancangan percobaan dan analisa data dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan aplikasi yang bernama STATISTICA. *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan salah satu metode pengolahan data yang digunakan untuk mengetahui hubungan (signifikansi) dari beberapa faktor yang memiliki interaksi kompleks. RSM dapat mengecilkan jumlah percobaan sehingga merupakan metode yang kuat dalam menguji variabel proses ganda (Bai *et al.*, 2014). RSM akan menghasilkan grafik yang didasarkan pada model matematika. RSM juga akan menyatukan semua respon melalui sebuah optimasi yang memenuhi semua spesifikasi dengan biaya yang minimal. Metode *respond surface* yang biasa digunakan adalah *Composite Central Design* (CCD). CCD dapat memungkinkan untuk membuat model statistik dan representasi dalam bentuk grafis serta respon surface. Metode ini berguna untuk memprediksi nilai optimal dari respon serta memberikan informasi interaksi antar variabel independen dan kaitannya dengan variabel dependen (Anderson & Whitcomb, 2017).

Analisa data menggunakan RSM meliputi analisa varietas (ANOVA), *fitted response surface*, regresi, dan nilai *critical value*.

4.1. Kadar Air

Kadar air pada sampel kristalisasi *nutmeg butter* ditunjukkan pada Tabel 2. hasil analisa fisik kristalisasi *nutmeg butter* dengan analisa data menggunakan RSM yang ditunjukkan pada Gambar 1,2, dan 3. hasil grafik *fitted response* kadar air, Gambar 4. hasil ANOVA kadar air, dan Tabel 4. hasil nilai *critical value* kadar air.

Menurut data hasil penelitian, kadar air sampel enkapsulasi mentega biji pala berkisar antara 0,98-3,37%. Berdasarkan Tabel 2. hasil analisa kristalisasi *nutmeg butter*, dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi *nutmeg butter* yang ditambahkan, maka kadar air yang didapatkan akan semakin rendah, yang ditunjukkan dengan sampel dengan penambahan *nutmeg butter* dengan konsentrasi 18,41 gram (tertinggi) pada setiap batch menunjukkan kadar air yang rendah dibandingkan dengan konsentrasi penambahan *nutmeg butter* yang lain. Hal ini disebabkan karena waktu yang dibutuhkan pada saat proses enkapsulasi mencapai bentuk kristal pada sampel yang memiliki konsentrasi *nutmeg butter* lebih tinggi akan lebih lama daripada sampel dengan konsentrasi *nutmeg butter* yang lebih rendah, sehingga penguapan pada sampel yang memiliki konsentrasi *nutmeg butter* yang tinggi akan lebih besar dan menyebabkan kadar air menjadi lebih rendah. Selain itu, dengan lebih tingginya konsentrasi gula pada sampel, maka makin banyak pula gula yang dapat menyerap air dan akan menghasilkan kadar air yang rendah (Chandrayani, 2002). Dari data analisa kadar air, didapatkan nilai kadar air tertinggi yakni 3,37%. Hal ini sesuai dengan teori Chandrayani (2002), dimana proses enkapsulasi menggunakan gula (sukrosa) dengan pemanasan bertujuan untuk mengurangi kadar air hingga kurang dari 10%.

Berdasarkan Gambar 1. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap kadar air, Gambar 2. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap kadar air, dan Gambar 3. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan gula dan air terhadap kadar air, ketiga grafik menunjukkan bentuk grafik minimum, sehingga menandakan bahwa penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap

kadar air, penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap kadar air, serta penambahan gula dan air terhadap kadar air tidak mempengaruhi hasil dari persen kadar air. Hal ini tidak sesuai dengan teori, dimana Chandrayani (2002) menyatakan bahwa perbandingan konsentrasi penambahan *nutmeg butter* dengan penambahan gula akan mempengaruhi kadar air, yakni penambahan *nutmeg butter* dengan konsentrasi yang rendah, gula yang tersisa akan semakin banyak dibandingkan dengan penambahan *nutmeg butter* dengan konsentrasi yang tinggi, dimana gula dapat menyerap air, sehingga dengan lebih banyaknya gula yang ditambahkan akan menyebabkan makin banyak pula gula menyerap air dan akan menghasilkan kadar air yang rendah.

ANOVA menunjukkan persamaan dan hubungan antar respon dan variabel signifikan yang ditunjukkan dengan sebuah persamaan. Koefisien dan signifikansi ditentukan oleh nilai F dan p, dimana jika nilai F semakin besar dan nilai p semakin kecil, maka data akan semakin signifikan. Nilai p yang lebih rendah dari 0,05 menunjukkan model statistic yang signifikan (Bai *et al.*, 2014). Berdasarkan Gambar 4. ANOVA kadar air, menunjukkan bahwa *butter* (L) dan (Q), gula (L) dan (Q), serta air (L) dan (Q) memiliki nilai p lebih tinggi dari 0,05 sehingga dinyatakan tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga faktor tersebut tidak mempengaruhi hasil kadar air, sedangkan Chandrayani (2012) menyatakan bahwa penguapan pada sampel yang memiliki konsentrasi *nutmeg butter* yang tinggi akan lebih besar dan menyebabkan kadar air menjadi lebih rendah, serta dengan lebih tingginya konsentrasi gula pada sampel, maka makin banyak pula gula yang dapat menyerap air dan akan menghasilkan kadar air yang rendah, sehingga hal ini tidak sesuai dengan teori.

Menurut Ratnawati *et al.*, (2018), *critical value* merupakan gabungan kondisi optimal yang dipengaruhi oleh interaksi antar variabel. Prediksi titik kritis hanya didapatkan jika grafik *fitted surface* berbentuk maksimum, minimum, maupun saddle (Bezerra *et al.*, 2008). Grafik *fitted surface* dari kadar air menunjukkan grafik minimum sehingga tabel *critical value* dapat muncul. Berdasarkan Tabel 4. *Critical Value* kadar air, dapat dilihat bahwa konsentrasi penambahan *nutmeg butter* terbaik yakni sebesar 7,04696. Konsentrasi penambahan gula terbaik yakni sebesar 34,48263 dan konsentrasi penambahan air terbaik yakni sebesar 21,59593. Penambahan konsentrasi yang sesuai dengan *critical value* akan menghasilkan nilai kadar air sebesar 1,620669%.

4.2. Aktivitas Air (Aw)

Nilai aktivitas air (Aw) pada sampel kristalisasi *nutmeg butter* ditunjukkan pada Tabel 2. hasil analisa fisik kristalisasi *nutmeg butter* dengan analisa data menggunakan RSM yang ditunjukkan pada Gambar 5, 6, dan 7. hasil grafik *fitted response* Aw, Gambar 8. hasil ANOVA Aw, dan Tabel 5. hasil nilai *critical value* Aw.

Menurut data hasil penelitian, hasil aktivitas air (Aw) sampel enkapsulasi *nutmeg butter* berkisar antara 0,518-0,829. Berdasarkan Tabel 2. hasil analisa kristalisasi *nutmeg butter*, dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi *nutmeg butter* yang ditambahkan, maka nilai aktivitas air (Aw) yang didapatkan akan semakin rendah, yang ditunjukkan dengan sampel dengan penambahan *nutmeg butter* dengan konsentrasi 18,41 gram (tertinggi) pada setiap batch menunjukkan kadar air yang rendah untuk setiap batch yakni 0,518 pada batch 1 dan 0,633 pada batch 2 dibandingkan dengan konsentrasi penambahan *nutmeg butter* yang lain. Hal ini disebabkan karena semakin banyak konsentrasi *nutmeg butter* yang ditambahkan, maka gula yang tersisa sebagai penyalut akan semakin sedikit, sehingga kemampuan penyalut mempertahankan bahan aktif menjadi rendah atau dengan kata lain pelepasan bahan aktif (re-enkapsulasi) yang jumlahnya menjadi tinggi. Hal ini sesuai dengan teori Reineccius dalam Desmawarni (2007), dimana nilai Aw yang tinggi disebabkan karena adanya pelepasan bahan aktif yang jumlahnya lebih besar pada enkapsulat. Nilai Aw yang tinggi akan menyebabkan molekul-molekul air yang berada di sekitar *nutmeg butter* terenkapsulasi berpenetrasi ke dalam partikel matriks, sehingga sampel mengalami hidrasi.

Berdasarkan Gambar 5. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap Aw, Gambar 6. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap Aw, dan Gambar 7. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan gula dan air terhadap Aw, ketiga grafik menunjukkan bentuk grafik maksimum, sehingga menandakan bahwa penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap Aw, penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap Aw, serta penambahan gula dan air terhadap Aw mempengaruhi hasil dari Aw. Hal ini sesuai dengan teori, dimana Reineccius dalam Desmawarni (2007) menyatakan bahwa nilai Aw yang tinggi

disebabkan karena adanya pelepasan bahan aktif yang jumlahnya lebih besar. Banyak konsentrasi *nutmeg butter* pala yang ditambahkan, maka gula yang tersisa sebagai penyalut akan semakin sedikit, sehingga kemampuan penyalut mempertahankan bahan aktif menjadi rendah atau dengan kata lain pelepasan bahan aktif (re-enkapsulasi) yang jumlahnya menjadi sedikit.

ANOVA menunjukkan persamaan dan hubungan antar respon dan variabel signifikan yang ditunjukkan dengan sebuah persamaan. Koefisien dan signifikansi ditentukan oleh nilai F dan p, dimana jika nilai nilai F semakin besar dan nilai p semakin kecil, maka data akan semakin signifikan. Nilai p yang lebih rendah dari 0,05 menunjukkan model statistik yang signifikan (Bai *et al.*, 2014). Berdasarkan Gambar 8. ANOVA Aw, menunjukkan bahwa *butter* (L) dan (Q) memiliki nilai p lebih rendah dari 0,05 sehingga dinyatakan signifikan. Sedangkan gula (L) dan (Q), serta air (L) dan (Q) memiliki nilai p lebih tinggi dari 0,05 sehingga dinyatakan tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa faktor penambahan *nutmeg butter* mempengaruhi hasil kadar air. Menurut Reineccius dalam Desmawarni (2007), nilai Aw yang tinggi disebabkan karena adanya pelepasan bahan aktif dengan jumlah yang besar. Banyaknya konsentrasi *nutmeg butter* pala yang ditambahkan, maka gula yang tersisa sebagai penyalut akan semakin sedikit, sehingga kemampuan penyalut mempertahankan bahan aktif menjadi rendah atau dengan kata lain pelepasan bahan aktif (re-enkapsulasi) yang jumlahnya menjadi sedikit, sehingga hal ini sesuai dengan teori yang didapat.

Tabel 5. *Critical Value* Aw menunjukkan bahwa konsentrasi penambahan *nutmeg butter* terbaik yakni sebesar 8,65960. Konsentrasi penambahan gula terbaik yakni sebesar 33,97950 dan konsentrasi penambahan air terbaik yakni sebesar 16,42557. Penambahan konsentrasi yang sesuai dengan *critical value* akan menghasilkan nilai Aw sebesar 0,8086038. Namun hal ini belum tentu sesuai karena nilai *critical point* yang didapat menghasilkan Aw yang cukup tinggi yakni mendekati 1.

4.3. Warna (L^* , a^* , b^*)

Nilai warna (L^* , a^* , b^*) pada sampel kristalisasi *nutmeg butter* ditunjukkan pada Tabel 2. hasil analisa fisik kristalisasi *nutmeg butter* dengan analisa data menggunakan RSM yang ditunjukkan pada Gambar 9, 10, dan 11. hasil grafik *fitted response* warna (L^*), Gambar 12. hasil ANOVA warna (L^*), Tabel 6. regresi warna (L^*), Tabel 7. hasil nilai *critical value* warna (L^*), Gambar 13, 14, 15. hasil grafik *fitted response* warna (a^*), Gambar 16. hasil ANOVA warna (a^*), Tabel 8. hasil nilai *critical value* warna (a^*), Gambar 17, 18, 19. hasil grafik *fitted response* warna (b^*), Gambar 20. hasil ANOVA warna (b^*), Tabel 9. hasil nilai *critical value* warna (b^*)

Menurut data hasil penelitian, hasil nilai warna (L^* , a^* , b^*) sampel enkapsulasi *nutmeg butter* berkisar antara 83,50-93,20 untuk L^* , -0,08 hingga -1,97 untuk a^* , dan 3,52-12,73. Berdasarkan Tabel 2. hasil analisa kristalisasi *nutmeg butter*, dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi *nutmeg butter* yang ditambahkan, maka nilai warna (L^*) semakin rendah, serta a^* , dan b^* yang didapatkan akan semakin tinggi, yang ditunjukkan dengan sampel dengan penambahan *nutmeg butter* dengan konsentrasi 18,41 gram pada setiap batch dibandingkan dengan konsentrasi penambahan *nutmeg butter* yang lain. Hal ini disebabkan karena semakin banyak konsentrasi *nutmeg butter* yang ditambahkan, maka *nutmeg butter* yang terenkapsulasi dengan penyalut akan semakin besar, dan juga sisa penyalut yang mengkristal menjadi sedikit sehingga warna yang didapatkan akan semakin pekat. Warna yang dihasilkan yakni kuning pucat.

Berdasarkan Gambar 9. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap warna (L^*), Gambar 10. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap warna (L^*), Gambar 11. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan gula dan air terhadap warna (L^*), Gambar 13. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap warna (a^*), Gambar 14. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap warna (a^*), Gambar 15. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan gula dan air terhadap warna (a^*), keenam grafik menunjukkan bentuk grafik minimum, sehingga menandakan bahwa penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap warna (L^* dan a^*),

penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap warna (L^* dan a^*), serta penambahan gula dan air terhadap warna (L^* dan a^*) tidak mempengaruhi hasil dari warna. Sedangkan Gambar 17. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap warna (b^*), Gambar 18. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap warna (b^*), Gambar 19. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan gula dan air terhadap warna (b^*) menunjukkan grafik maksimum, sehingga menandakan bahwa penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap warna (b^*), penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap warna (b^*), serta penambahan gula dan air terhadap warna (b^*) tidak mempengaruhi hasil dari warna.

ANOVA menunjukkan persamaan dan hubungan antar respon dan variabel signifikan yang ditunjukkan dengan sebuah persamaan. Koefisien dan signifikansi ditentukan oleh nilai F dan p, dimana jika nilai nilai F semakin besar dan nilai p semakin kecil, maka data akan semakin signifikan. Nilai p yang lebih rendah dari 0,05 menunjukkan model statistik yang signifikan (Bai *et al.*, 2014). Berdasarkan Gambar 12, data ditunjukkan dengan adanya faktor yang saling berpengaruh. *Butter* ditunjukkan dengan faktor 1L, gula ditunjukkan dengan faktor 2L, dan air ditunjukkan dengan faktor 3L. Faktor 1L by 2L, 1L by 3L, dan 2L by 3L merupakan hubungan antara setiap faktor satu dengan faktor lainnya terhadap hasil analisa atau variabel terikatnya. Hasil data menunjukkan faktor penambahan *butter* dan gula, serta hubungan antara faktor penambahan *butter* dan gula dan juga faktor penambahan *butter* dan air merupakan hasil yang signifikan, sehingga perlakuan tersebut yang signifikan mempengaruhi warna (L^*).

ANOVA pada warna (a^*) ditunjukkan pada Gambar 16, dimana data ditunjukkan dengan adanya faktor yang saling berpengaruh. *Butter* ditunjukkan dengan faktor 1L, gula ditunjukkan dengan faktor 2L, dan air ditunjukkan dengan faktor 3L. Faktor 1L by 2L, 1L by 3L, dan 2L by 3L merupakan hubungan antara setiap faktor satu dengan faktor lainnya terhadap hasil analisa atau variabel terikatnya. Hasil data menunjukkan faktor penambahan *butter* merupakan hasil yang signifikan, sehingga faktor perlakuan penambahan *butter* yang signifikan mempengaruhi warna (a^*).

ANOVA pada warna (b^*) ditunjukkan pada Gambar 20, dimana data ditunjukkan dengan adanya faktor yang saling berpengaruh. *Butter* ditunjukkan dengan faktor 1L, gula ditunjukkan dengan faktor 2L, dan air ditunjukkan dengan faktor 3L. Faktor 1L by 2L, 1L by 3L, dan 2L by 3L merupakan hubungan antara setiap faktor satu dengan faktor lainnya terhadap hasil analisa atau variabel terikatnya. Hasil data menunjukkan faktor penambahan *butter* merupakan hasil yang signifikan, sehingga faktor perlakuan penambahan *butter* yang signifikan mempengaruhi warna (b^*).

Grafik *fitted surface* dari warna (L^* dan a^*) menunjukkan grafik minimum serta Grafik *fitted surface* dari warna (b^*) menunjukkan grafik maksimum sehingga tabel *critical value* dapat muncul. Berdasarkan Tabel 7. *critical value* warna (L^*) dapat dilihat bahwa konsentrasi penambahan *nutmeg butter* terbaik yakni sebesar 13,6213. Konsentrasi penambahan gula terbaik yakni sebesar 23,5066 dan konsentrasi penambahan air terbaik yakni sebesar 2,9282. Penambahan konsentrasi yang sesuai dengan *critical value* akan menghasilkan nilai warna (L^*) sebesar 91,42809.

Tabel 8. *critical value* warna (a^*) menunjukkan konsentrasi penambahan *nutmeg butter* terbaik yakni sebesar 17,25763. Konsentrasi penambahan gula terbaik yakni sebesar 33,01516 dan konsentrasi penambahan air terbaik yakni sebesar 21,48683. Penambahan konsentrasi yang sesuai dengan *critical value* akan menghasilkan nilai warna (a^*) sebesar -1,43752. Sedangkan pada Tabel 9. *critical value* warna (b^*) menunjukkan bahwa konsentrasi penambahan *nutmeg butter* terbaik yakni sebesar 20,94925. Konsentrasi penambahan gula terbaik yakni sebesar 35,16076 dan konsentrasi penambahan air terbaik yakni sebesar 22,84927. Penambahan konsentrasi yang sesuai dengan *critical value* akan menghasilkan nilai warna (b^*) sebesar 10,9968.

Berdasarkan Tabel 6., Regresi warna (L^*), dapat dilihat bahwa data ditunjukkan dengan adanya setiap faktor yang saling berpengaruh. *Butter* ditunjukkan dengan faktor 1L, gula ditunjukkan dengan faktor 2L, dan air ditunjukkan dengan faktor 3L. L dan Q, merupakan koefisien setiap faktor pada persamaan Y. Faktor 1L by 2L, 1L by 3L, dan 2L by 3L merupakan hubungan antara setiap faktor satu dengan faktor lainnya terhadap hasil analisa atau variabel terikatnya. Faktor yang signifikan ditandai dengan nilai $p < 0,05$. Hasil data menunjukkan faktor nilai *mean*, penambahan *butter* dan gula, serta

hubungan antara faktor penambahan *butter* dan gula dan juga faktor penambahan *butter* dan air merupakan hasil yang signifikan, sehingga perlakuan tersebut yang signifikan mempengaruhi warna (L^*).

Menurut Antony (2003), regresi digunakan untuk memprediksi respon kombinasi dari parameter proses pada level terbaik dalam perlakuan. Regresi juga akan memberi keterangan tentang hubungan antara variable independent dan respon (Bai, 2014).

Persamaan untuk regresi 3 tingkat yaitu

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} BC + \beta_{11} A^2 + \beta_{22} B^2 + \beta_{33} C^2$$

Y akan memprediksi respon, β_0 merupakan model konstan, β_1 sampai β_3 merupakan koefisien linear, β_{11} sampai β_{33} merupakan koefisien kuadratik, β_{12} sampai β_{23} merupakan koefisien cross product. Huruf A, B, dan C dalam persamaan menunjukkan variable independen (*butter*, gula, dan air) yang dapat diganti dengan huruf X (Said, & Amin, 2015). Sehingga berdasarkan Tabel 6. Regresi Warna (L^*), prediksi persamaannya adalah :

$$Y = 141,3310 + 1,7819X_1 - 3,2521X_2 - 0,3115X_3 - 0,0513X_1X_2 - 0,0365X_1X_3 - 0,0032X_2X_3 + 0,0250X_1^2 + 0,0541X_2^2 + 0,0187X_3^2$$

dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,68175. Koefisien determinasi menunjukkan pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikatnya.

4.4. Aktivitas Antioksidan

Nilai antioksidan pada sampel kristalisasi *nutmeg butter* ditunjukkan pada Tabel 3. hasil analisa kimia kristalisasi *nutmeg butter* dengan analisa data menggunakan RSM yang ditunjukkan pada Gambar 21, 22, dan 23. hasil grafik *fitted response* aktivitas antioksidan, Gambar 24. hasil ANOVA aktivitas antioksidan, Tabel 10. regresi aktivitas antioksidan dan Tabel 11. hasil nilai *critical value* aktivitas antioksidan.

Berdasarkan Gambar 21. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap aktivitas antioksidan, Gambar 22. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap aktivitas antioksidan, dan Gambar 23. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan gula dan air terhadap aktivitas antioksidan,

ketiga grafik menunjukkan bentuk grafik maksimum, sehingga menandakan bahwa penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap, penambahan *nutmeg butter* dan air, serta penambahan gula dan air terhadap aktivitas antioksidan mempengaruhi hasil dari aktivitas antioksidan. Menurut Reineccius dalam Desmawarni (2007), aktivitas antioksidan pada sampel ini diduga karena adanya senyawa fenol yang terkandung khususnya senyawa fenolik yang ada pada biji pala yang telah di enkapsulasi dengan metode kristalisasi. Ketika *nutmeg butter* ditambahkan dengan konsentrasi yang tinggi, maka kemampuan penyalut mempertahankan bahan aktif menjadi rendah, sehingga reagen dapat dengan cepat menembus dinding partikel enkapsulat dari sampel, sehingga nilai aktivitas antioksidannya tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan hasil data yang memiliki perlakuan penambahan *nutmeg butter* yang semakin tinggi akan menghasilkan nilai aktivitas antioksidan yang tinggi pula.

ANOVA menunjukkan persamaan dan hubungan antar respon dan variabel signifikan yang ditunjukkan dengan sebuah persamaan. Koefisien dan signifikansi ditentukan oleh nilai F dan p, dimana jika nilai nilai F semakin besar dan nilai p semakin kecil, maka data akan semakin signifikan. Nilai p yang lebih rendah dari 0,05 menunjukkan model statistik yang signifikan (Bai *et al.*, 2014). Berdasarkan Gambar 24, hasil data menunjukkan faktor penambahan *butter* merupakan hasil yang signifikan, karena nilai p yang didapatkan dibawah 0,05, sehingga faktor perlakuan penambahan *butter* (L dan Q) yang signifikan mempengaruhi aktivitas antioksidan. Sesuai dengan teori Reineccius dalam Desmawarni (2007) yang menyatakan ketika *nutmeg butter* ditambahkan dengan konsentrasi yang tinggi, maka kemampuan penyalut mempertahankan bahan aktif menjadi rendah, sehingga reagen dapat dengan cepat menembus dinding partikel enkapsulat dari sampel, sehingga aktivitas antioksidannya tinggi. Namun pada data hasil analisa, beberapa sampel yang memiliki konsentrasi *nutmeg butter* yang tinggi, memiliki nilai aktivitas antioksidan tidak begitu tinggi. Hal ini dikarenakan pada saat proses enkapsulasi, sebagian besar *nutmeg butter* tidak tersalut secara menyeluruh sehingga banyaknya terbentuk kristal gula yang menyebabkan kemampuan reagen untuk membaca aktivitas antioksidan menjadi lemah.

Grafik *fitted surface* dari aktivitas antioksidan menunjukkan grafik maksimum sehingga tabel *critical value* dapat muncul. Berdasarkan Tabel 11. *Critical value* aktivitas

antioksidan, dapat dilihat bahwa konsentrasi penambahan *nutmeg butter* terbaik yakni sebesar 13,31170. Konsentrasi penambahan gula terbaik yakni sebesar 36,02755 dan konsentrasi penambahan air terbaik yakni sebesar 19,15490. Penambahan konsentrasi yang sesuai dengan *critical value* akan menghasilkan nilai aktivitas antioksidan sebesar 95,70422.

Berdasarkan Tabel 10., regresi aktivitas antioksidan, dapat dilihat bahwa data ditunjukkan dengan adanya setiap faktor yang saling berpengaruh. *Butter* ditunjukkan dengan faktor 1L, gula ditunjukkan dengan faktor 2L, dan air ditunjukkan dengan faktor 3L. L dan Q merupakan koefisien setiap faktor pada persamaan Y. Faktor 1L by 2L, 1L by 3L, dan 2L by 3L merupakan hubungan antara setiap faktor satu dengan faktor lainnya terhadap hasil analisa atau variabel terikatnya. Faktor yang signifikan ditandai dengan nilai $p < 0,05$. Hasil data menunjukkan faktor penambahan *butter* merupakan hasil yang signifikan, sehingga mempengaruhi aktivitas antioksidan. Regresi digunakan untuk memprediksi respon kombinasi dari parameter proses pada level terbaik dalam perlakuan. Regresi juga akan memberi keterangan tentang hubungan antara variable independent dan respon (Bai, 2014). Persamaan untuk regresi 3 tingkat yaitu

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} AC + \beta_{11} A^2 + \beta_{22} B^2 + \beta_{33} C^2$$

Y akan memprediksi respon, β_0 merupakan model konstan, β_1 sampai β_3 merupakan koefisien linear, β_{11} sampai β_{33} merupakan koefisien kuadratik, β_{12} sampai β_{23} merupakan koefisien cross product. Huruf A, B, dan C dalam persamaan menunjukkan variable independen (*butter*, gula, air) yang dapat diganti dengan huruf X (Said, & Amin, 2015). Sehingga berdasarkan Tabel 10. Regresi Aktvitas Antioksidan, prediksi persamaan dari aktivitas antioksidan adalah

$$Y = -117,034 + 3,783X_1 + 7,896X_2 + 4,733X_3 + 0,011X_1X_2 + 0,073X_1X_3 - 0,110X_2X_3 - 0,210X_1^2 - 0,083X_2^2 - 0,046X_3^2$$

dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,65372. Koefisien determinasi menunjukkan pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikatnya.

4.5. Minyak Terperangkap (Trapped Oil), *Surface oil*, dan *Total oil content*.

Nilai minyak terperangkap pada sampel kristalisasi *nutmeg butter* ditunjukkan pada Tabel 3. hasil analisa kimia kristalisasi *nutmeg butter* dengan analisa data menggunakan RSM yang ditunjukkan pada Gambar 25, 26, dan 27. hasil grafik *fitted response* minyak terperangkap, Gambar 28. hasil ANOVA minyak terperangkap, Tabel 12. regresi minyak terperangkap dan Tabel 13. hasil nilai *critical value* minyak terperangkap.

Berdasarkan Gambar 25. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap minyak terperangkap, Gambar 22. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan *nutmeg butter* dan air terhadap minyak terperangkap, dan Gambar 23. grafik *fitted surface* dan *fitted response profile* pada pengaruh penambahan gula dan air terhadap minyak terperangkap, ketiga grafik menunjukkan bentuk grafik maksimum, sehingga menandakan bahwa penambahan *nutmeg butter* dan gula terhadap, penambahan *nutmeg butter* dan air serta penambahan gula dan air terhadap minyak terperangkap akan mempengaruhi hasil dari minyak terperangkap.

Minyak terperangkap dipengaruhi oleh *total oil content* dan *surface oil*. Hasil minyak terperangkap didapatkan dari pengurangan hasil *total oil content* dengan *surface oil*. Menurut Supriyadi dan Rujita (2013), minyak di permukaan kapsul menunjukkan banyaknya minyak yang terdapat pada permukaan luar dinding kapsul. Stabilitas bahan aktif berpengaruh terhadap jumlah minyak yang ada di permukaan kapsul sehingga kondisi lingkungan sangat mempengaruhi. Sedangkan menurut Yuliani *et al.* (2007), *total oil content* merupakan jumlah minyak yang ada pada kapsul, baik yang terdapat didalam maupun diluar yaitu yang menempel pada kapsul. Data analisa menunjukkan bahwa semakin banyak konsentrasi *nutmeg butter* dalam sampel, maka *total oil* maupun *surface oil*nya juga tinggi, sehingga minyak terperangkap yang memiliki nilai yang tinggi terdapat pada sampel 15, 16, dan 17 untuk setiap batch nya.

ANOVA menunjukkan persamaan dan hubungan antar respon dan variabel signifikan yang ditunjukkan dengan sebuah persamaan. Koefisien dan signifikansi ditentukan oleh nilai F dan p, dimana jika nilai nilai F semakin besar dan nilai p semakin kecil, maka data akan semakin signifikan. Nilai p yang lebih rendah dari 0,05 menunjukkan model

statistik yang signifikan (Bai *et al.*, 2014). Berdasarkan Gambar 28, hasil data menunjukkan faktor penambahan *butter*, gula, dan air (Q), merupakan hasil yang signifikan, sehingga faktor perlakuan penambahan *butter* yang signifikan mempengaruhi minyak terperangkap.

Grafik *fitted surface* dari minyak terperangkap menunjukkan grafik maksimum sehingga tabel *critical value* dapat muncul. Berdasarkan Tabel 13. *Critical value* minyak terperangkap, dapat dilihat bahwa konsentrasi penambahan *nutmeg butter* terbaik yakni sebesar 10,96345. Konsentrasi penambahan gula terbaik yakni sebesar 34,83190 dan konsentrasi penambahan air terbaik yakni sebesar 19,69303. Penambahan konsentrasi yang sesuai dengan *critical value* akan menghasilkan nilai minyak terperangkap sebesar 17,77424.

Berdasarkan Tabel 12., dapat dilihat bahwa data ditunjukkan dengan adanya setiap faktor yang saling berpengaruh. *Butter* ditunjukkan dengan faktor 1L, gula ditunjukkan dengan faktor 2L, dan air ditunjukkan dengan faktor 3L. L dan Q merupakan koefisien setiap faktor pada persamaan Y. Faktor 1L by 2L, 1L by 3L, dan 2L by 3L merupakan hubungan antara setiap faktor satu dengan faktor lainnya terhadap hasil analisa atau variabel terikatnya. Faktor yang signifikan ditandai dengan nilai $p < 0,05$. Hasil data menunjukkan faktor penambahan *butter*, gula, dan air merupakan hasil yang signifikan, sehingga mempengaruhi minyak terperangkap. Regresi digunakan untuk memprediksi respon kombinasi dari parameter proses pada level terbaik dalam perlakuan. Regresi juga akan memberi keterangan tentang hubungan antara variable independen dan respon (Bai, 2014). Persamaan untuk regresi 3 tingkat yaitu

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} BC + \beta_{11} A^2 + \beta_{22} B^2 + \beta_{33} C^2$$

Y akan memprediksi respon, β_0 merupakan model konstan, β_1 sampai β_3 merupakan koefisien linear, β_{11} sampai β_{33} merupakan koefisien kuadratik, β_{12} sampai β_{23} merupakan koefisien cross product. Huruf A, B, dan C dalam persamaan menunjukkan variable independen (*butter*, gula dan air) yang dapat diganti dengan huruf X (Said, & Amin, 2015). Sehingga berdasarkan Tabel 12. Regresi Minyak Terperangkap, prediksi persamaan dari minyak terperangkap adalah

$$Y = -295,771 + 1,753X_1 + 13,986X_2 + 6,131X_3 + 0,040X_1X_2 + 0,009X_1X_3 + 0,015X_2X_3 - 0,151X_1^2 - 0,211X_2^2 - 0,015X_3^2$$

dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,61545. Koefisien determinasi menunjukkan pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikatnya.

4.6. Diagram Pareto

Menurut Antony (2003), diagram pareto merupakan diagram yang mendeteksi faktor dan efek interaksi yang berpengaruh didalam optimasi. Diagram pareto akan menunjukkan nilai yang absolut dari efek, dan juga menggambar garis referensi pada grafik. Jika terdapat efek yang melewati garis referensi tersebut, maka kemungkinan besar efek ini penting serta berpengaruh terhadap suatu perlakuan Berdasarkan Lampiran 1. Diagram Pareto Kadar Air., diagram menunjukkan bahwa tidak ada faktor-faktor yang melewati garis referensi dan melebihi nilai $p=0,05$, sehingga tidak ada faktor yang mempengaruhi kadar air. Lampiran 2. Diagram Pareto Aw., menunjukkan faktor *butter* (L dan Q) melebihi nilai $p=0,05$ yang memiliki arti variabel tersebut signifikan secara statistik, Sehingga variabel *butter* (Q), (L) dinyatakan memiliki pengaruh terhadap hasil sampel karena signifikan.

Pada Lampiran 3. Diagram Pareto Warna (L^*), menunjukkan faktor *butter* (L), gula (Q), faktor *butter* dan gula, serta *butter* dan air melebihi nilai $p=0,05$ yang memiliki arti variabel tersebut signifikan secara statistik, sehingga faktor tersebut mempengaruhi warna (L^*) karena signifikan. Lampiran 4 dan 5. Diagram Pareto Warna (a^* dan b^*), menunjukkan faktor *butter* (L) melebihi nilai $p=0,05$ yang memiliki arti variabel tersebut signifikan secara statistik, Sehingga variabel *butter* (L) dinyatakan memiliki pengaruh terhadap hasil sampel karena signifikan.

Berdasarkan Lampiran 6. Diagram Pareto Aktivitas Antioksidan, menunjukkan faktor *butter* (L dan Q) melebihi nilai $p=0,05$ yang memiliki arti variabel tersebut signifikan secara statistik, Sehingga variabel *butter* (Q), (L) dinyatakan memiliki pengaruh terhadap hasil sampel karena signifikan.

Sedangkan pada Lampiran 7. Diagram Pareto Minyak Terperangkap, menunjukkan faktor *butter*, gula dan air (Q) melebihi nilai $p=0,05$ yang memiliki arti variabel

tersebut signifikan secara statistik, Sehingga variabel *butter* , gula dan air (Q) dinyatakan memiliki pengaruh terhadap hasil sampel karena signifikan.

