

**Penggunaan *Response Surface Methodology* untuk Optimasi Proses  
Pembakaran Ikan Bandeng terhadap Penurunan  
Kadar Polisiklik Aromatik Hidrokarbon**

**Using of response surface methodology for grilling process optimization of milk fish  
reducing polycyclic aromatic hydrocarbons**

Syahrul<sup>1</sup>✉, M. Audy Faulandy<sup>1</sup>, Herdianti Mallawa<sup>1</sup>, Sri Devi<sup>1</sup>, Nurfadillah Ayu Eka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, FIKP, Universitas Hasanuddin.

<sup>2</sup> Program Studi Keteknikan Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

✉Corresponden Autor: [syahrulpspunhas@gmail.com](mailto:syahrulpspunhas@gmail.com)

### ABSTRAK

Makanan panggang merupakan salah satu jenis pengolahan makanan favorit di Indonesia. Kehidupan perkotaan yang padat berefek pada terjadinya peningkatan konsumsi makanan siap saji pada rumah makan yang umumnya menyajikan berbagai jenis makanan panggang. Makanan panggang atau bakar ditengarai mengandung komponen polisiklik aromatik hidrokarbon yang dapat berbahaya bagi kesehatan jika prosesnya tidak sesuai dengan prosedur yang tepat. Penelitian ini melakukan optimasi dengan menggunakan *response surface methodology* untuk mereduksi komponen PAH. Tujuan umum dari penelitian ini adalah mengevaluasi reduksi kandungan senyawa PAH dalam ikan bakar dengan optimasi penggunaan bumbu berbasis rempah lokal, jarak dan lama pemanasan. Kandungan total PAH maksimum yang ditemukan pada ikan bandeng bakar adalah 207,3 ng per g sampel. Formula optimum untuk ikan bandeng bakar adalah pembakaran dengan lama pembakaran 24,42 menit, konsentrasi bumbu 4,37 % dan jarak pembakaran 6,48 cm. Hasil verifikasi formula ikan bandeng bakar menunjukkan kandungan PAH 11,07 ng/g sampel, nilai L 40,24, nilai derajat hue 68,13 dan nilai kadar air 64,22 %. Seluruh nilai prediksi formula ikan bandeng bakar memenuhi 95 % *prediction interval*. Nilai PAH yang rendah menunjukkan bahwa formula dapat digunakan untuk memperoleh titik proses pembakaran yang optimum untuk reduksi PAH dari makanan bakar.

**Kata kunci:** ikan bandeng, komponen PAH, optimasi pembakaran, *response surface methodology*

### Pendahuluan

Ikan bandeng merupakan salah satu komoditas perikanan yang sangat populer di Sulawesi Selatan. Masyarakat di wilayah Sulawesi Selatan paling suka mengolah ikan bandeng sebagai ikan bakar dalam menu kesehariannya. Makanan panggang merupakan salah satu jenis pengolahan makanan favorit di Indonesia. Kehidupan perkotaan yang padat berefek pada terjadinya peningkatan konsumsi makanan siap saji pada rumah makan yang umumnya menyajikan berbagai jenis makanan panggang. Hal ini ditunjukkan oleh data dari BPS (2011) yang menunjukkan peningkatan konsumsi makanan jadi dari 9,48% pada 1999 menjadi 12,63% pada 2009. Studi oleh Sundararajan *et al.* (1999) menemukan lebih banyak molekul karsinogenik pada makanan panggang dibandingkan pengolahan yang lain sehingga makanan panggang sering dikaitkan dengan penyebab kanker. Data tahun 2007 menunjukkan prevalensi kejadian kanker di Indonesia cukup tinggi yaitu 4,3 per 1000 orang. Hal ini dapat terjadi akibat perubahan pola hidup seperti peningkatan konsumsi makanan panggang.

Molekul kimia karsinogenik sendiri dapat terbentuk selama proses pemasakan makanan terutama akibat proses pemanggangan. Contoh senyawa karsinogenik yang dapat terbentuk akibat proses pemanggangan diantaranya adalah golongan kloropropanol, seperti 3-kloropropan-1,2-diol (3-MCPD), golongan heterosiklik amin, seperti 2-amino-1-metil-6-fenilimidazo[4,5-*b*]piridin (PhIP), dan golongan polisiklik aromatik hidrokarbon, seperti benzo(a)piren dan dibenzo(a,h)antrasen (Harvey, 2011).

Salah satu molekul kimia karsinogenik yang terdapat pada makanan panggang dan menarik perhatian peneliti adalah polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH). Molekul PAH atau *arenes* adalah molekul kimia yang memiliki 2 atau lebih cincin aromatik dan tidak memiliki sifat fungsional dalam tubuh. Pembakaran bahan organik pada suhu tinggi, misalnya pemanggangan, diketahui dapat menyebabkan terbentuknya polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) melalui reaksi pemecahan bahan organik menjadi fragmen yang sederhana (pirolisis) dan pembentukan senyawa aromatik dari fragmen tersebut (pirosintetik) (Cano-Lerida *et al.* 2008). Komponen PAH sendiri merupakan kelompok yang terdiri dari ribuan molekul kimia. Penelitian sejak tahun 1915 oleh Yamagawa dan Ichikawa telah menunjukkan sifat karsinogenik dari beberapa molekul PAH. Penelitian yang dilakukan dengan mengoleskan ke kulit tikus menunjukkan adanya potensi karsinogen dari PAH yang terdapat pada ter terutama dari molekul benzo(a)piren dan dibenzo(a,h)antrasen (Harvey, 2011). JECFA memberikan batas asupan benzo(a)piren dalam makanan sebesar 10 µg/kg atau 10 ppb.

Upaya untuk menurunkan tingkat PAH dalam makanan panggang telah dilakukan seperti proses pembakaran sebelum pemanggangan dan pembungkusan makanan saat pemanggangan (Farhadian *et al.* 2011) dan penggunaan plastik LDPE untuk menyerap PAH (Chen J & Chen S, 2005). Namun optimasi dari proses panggang seperti bumbu, jarak dan lama pembakaran belum pernah dilakukan sebelumnya. Salah satu metode statistika yang baik digunakan untuk proses optimasi adalah *response surface methodology* (RSM).

## Metodologi Penelitian

### *Waktu dan Tempat*

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2019 sampai Oktober 2019. Penelitian ini dilakukan di beberapa laboratorium yaitu, Laboratorium Teknologi Hasil Perikanan, Laboratorium Toksikologi, FIKP Unhas, Laboratorium Analisis Pangan Departemen ITP, Institut Pertanian Bogor.

### *Bahan dan Alat*

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ikan bandeng dengan berat per ekor 300 g, bumbu kuning (terdiri atas kunyit, lengkuas, bawang putih, bawang merah, kemiri, merica, garam, dan jahe) yang digunakan untuk penyiapan ikan bakar, standar komponen PAH, yaitu benzo(a)piren (BAP) dan dibenzo (a,h) antrasen (DBA), asetronitril HPLC-grade, diklorometan p.a., toluena, n-heksana p.a., akuades Mili-Q grade, NaOH, kolom *solid phase extraction*, yaitu kolom ekstrelut Merck® (*diatomaceous earth*), kolom PRS (*propylsulfonic acid silica*) dari SiliCycle® (SiliCycle Inc. Canada), dan *silica gel for HPLC* Merck®.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, pipet volumetrik, pipet mikro, alat pemanggang dengan menggunakan arang briket untuk penyiapan ikan bakar, *food processor*. Sedangkan peralatan yang digunakan untuk analisis PAH adalah instrumen HPLC Agilent 1200 series dengan detektor MWD merk Agilent yang diset pada

panjang gelombang UV (Agilent Technologies, USA) dan kolom ODS (C18) dengan panjang 15 cm, diameter 4,6 mm dan ukuran partikel 5  $\mu\text{m}$ .

### *Tahapan Penelitian*

Penelitian ini dilakukan dalam 2 tahapan yaitu optimasi proses pembakaran dalam mereduksi komponen PAH ikan bakar berdasarkan faktor konsentrasi bumbu, lama pembakaran dan jarak pembakaran. Tahap akhir dari penelitian adalah verifikasi respon dari kombinasi perlakuan yang dihasilkan dari *software*.

Formulasi bumbu ikan bakar dilakukan dengan menggunakan bumbu kuning yang sudah umum digunakan oleh pedagang ikan dan ayam panggang. Pembuatan ikan bakar dilakukan dengan menggunakan alat pemanggang dengan sumber panas dari briket batu bara. Penentuan kombinasi konsentrasi bumbu, jarak pembakaran dan lama pembakaran dilakukan dengan menggunakan desain *response surface methodology* (RSM) dengan variabel independen A= lama pembakaran (minimum 20 & maksimum 40 menit), B= konsentrasi bumbu (minimum 0% & maksimum 15%), C= jarak pembakaran (minimum 2,0 cm & maksimum 10,0 cm). Presentase bumbu merupakan perbandingan konsentrasi bumbu dengan berat basah daging ikan. Proses pembakaran dilakukan pada suhu 250-300 °C.). Ikan yang digunakan adalah ikan bandeng dengan berat 300 g/ekor. Bumbu yang digunakan terdiri dari kunyit (2,5% dari total berat bumbu), lengkuas (15,0%), bawang putih (12,5%), bawang merah (50,0%), kemiri (2,5%), merica (2,5%), garam (2,5%), dan jahe (2,5%) (Pratama, 2012).

### *Analisis Respon*

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap respon optimasi yang meliputi: ekstraksi PAH dengan teknik SPE (Janozka *et.al.* 2004); warna dengan Chromameter CR-300 Minolta Jepang; dan kadar air (AOAC, 2005)

### *Analisis Data*

Analisis data menggunakan piranti lunak Design Expert 7.0 dengan RSM-Box Benken Design untuk optimasi proses

## **Hasil dan Pembahasan**

### *Analisis Respon Optimasi Pembakaran Ikan Bandeng*

Hasil pengukuran respon pada proses pembakaran ikan bandeng diperlihatkan pada Tabel 1. *Software Design Expert*® 7 memberikan pilihan jenis persamaan matematika (*mean, linear, quadratic, atau 2FI*) yang menggambarkan hubungan antara faktor dan respon penelitian. Seluruh persamaan matematika dari masing-masing respon digunakan dalam penentuan optimasi proses pembakaran. *Software* akan memberikan rekomendasi persamaan matematika yang terbaik berdasarkan signifikansi model.

Model yang baik digambarkan dalam signifikansi model pada uji ANOVA, kedekatan nilai perkiraan koefisien regresi hasil penelitian aktual ( $R^2$ ) dan prediksi dari model ( $\text{pred-}R^2$ ), serta tidak ditemukannya *Lack of Fit* dari model yang dihasilkan. Selain parameter tersebut, analisis lebih lanjut dapat dilakukan terhadap plot kenormalan dari data yang dihasilkan (*normal plot residual*) serta prediksi dari model dibandingkan dengan data

aktual hasil penelitian (*predicted vs actual*). Persamaan matematika yang diperoleh dari respon pada Tabel 1 memenuhi persyaratan tersebut. Selanjutnya hubungan masing-masing respon dengan faktor penelitian digambarkan pada bagian berikutnya.

Tabel 1. Hasil pengujian seluruh respon percobaan optimasi pembakaran ikan bandeng

Perlakuan	Lama (menit)	Bumbu (%)	Jarak (cm)	Nilai L	Nilai °Hue	Kadar Air (%)	Nilai PAH (ng/g)
1	20.0	7.5	10.0	44.19	75.98	65.46	40.8
2	30.0	15.0	10.0	42.43	70.15	62.96	55.2
3	30.0	7.5	6.0	37.41	70.86	60.89	31.5
4	30.0	0	10.0	38.15	72.74	65.23	59.4
5	40.0	0	6.0	27.79	59.57	63.79	189.2
6	30.0	15.0	2.0	35.21	65.15	66.54	96.5
7	40.0	15.0	6.0	26.81	64.35	63.95	126.4
8	40.0	7.5	2.0	30.44	74.22	62.49	207.3
9	30.0	7.5	6.0	34.13	62.15	66.57	28.3
10	40.0	7.5	10.0	24.85	67.65	59.91	81.3
11	30.0	7.5	6.0	34.11	73.42	65.44	27.8
12	30.0	15.0	6.0	31.74	74.15	66.72	22.6
13	20.0	7.5	2.0	41.49	59.72	67.49	84.6
14	30.0	0	2.0	28.36	64.95	60.24	181.7
15	20.0	0	6.0	48.28	75.43	64.86	47.1
16	30.0	7.5	6.0	39.55	66.18	64.98	24.9
17	30.0	7.5	6.0	34.49	69.53	66.37	29.7

#### Analisis Respon Total PAH

Total PAH yang ditemukan pada ikan bandeng bakar berkisar antara 22,6 hingga 207,3 ng/g sampel (207,3 ppb). Nilai terendah didapat pada pembakaran dengan jarak 6,0 cm selama 30 menit dengan bumbu 15%. Nilai tertinggi didapat pada pembakaran dengan jarak terendah 2,0 cm dengan lama pembakaran tertinggi 40 menit dan 7,5% bumbu. Nilai maksimum total PAH yang dicapai pada penelitian ini jauh lebih tinggi dibandingkan batas yang diperbolehkan oleh JECFA yaitu 10 ng/g sampel.

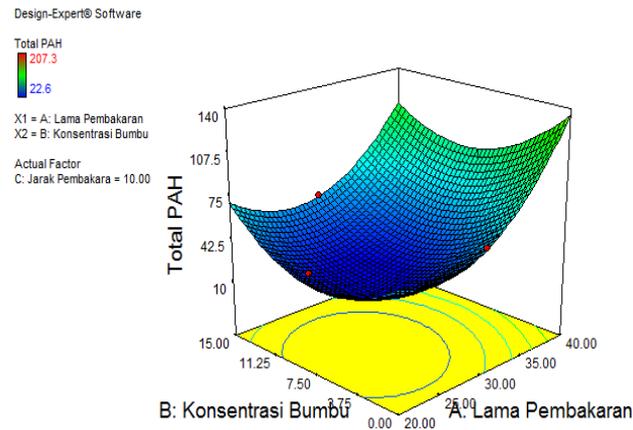
Persamaan matematika untuk hubungan antara total PAH ikan bandeng bakar dengan jarak dan lama pembakaran, dan konsentrasi bumbu adalah persamaan *quadratic*:

$$[\text{PAH}] = 315,9793 - 12,8017 A - 11,5096 B - 28,9193 C - 0,1276 AB - 0,5137 AC + 0,6750 BC + 0,3659 A^2 + 0,5563 B^2 + 2,4042 C^2$$

Keterangan: A= Lama pembakaran (menit), B= Konsentrasi bumbu (%), C= Jarak pembakaran (cm).

dengan nilai  $R^2$  model adalah 0.9472. Dari model yang dihasilkan terlihat bahwa total PAH pada ikan bakar dipengaruhi jarak, lama, dan konsentrasi bumbu serta interaksi ketiga faktor tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga faktor yang diujikan dapat dioptimalkan untuk mereduksi jumlah total PAH ikan bakar. Data dari total PAH ikan bandeng bakar hasil penelitian ini menyebar normal.

Contoh grafik tiga dimensi hubungan antara lama pembakaran dan konsentrasi bumbu terhadap total PAH ikan bandeng bakar ditunjukkan pada Gambar 1. Pada grafik terlihat pengaruh yang signifikan dari lama pembakaran terhadap total PAH. Grafik menunjukkan lama pembakaran yang singkat akan menurunkan total PAH yang terkandung pada ikan bandeng bakar.



Gambar 1. Grafik 3 dimensi hubungan lama pembakaran dan konsentrasi bumbu pada jarak pembakaran 10 cm terhadap total PAH ikan bandeng bakar

Penelitian sebelumnya (Farhadian *et al.* 2011) menunjukkan terdapat beberapa cara untuk mereduksi jumlah PAH pada makanan bakar diantaranya adalah dengan menurunkan interaksi antara daging dan api. Cara yang dapat dilakukan adalah melalui pembungkusan, pengurangan waktu pemanggangan dengan pre-heating serta penggunaan alat pemanggang khusus yang dapat memfilter lemak yang mungkin jatuh ke sumber api. Kombinasi lama pembakaran yang singkat dan jarak pembakaran yang tinggi dapat mengurangi resiko pirolisis sehingga PAH yang terbentuk dapat direduksi.

#### *Analisis respon nilai L*

Nilai L ikan bandeng bakar berkisar antara 24,85 hingga 48,28. Nilai L terendah dihasilkan pada proses pembakaran jarak pembakaran 10,0 cm, lama pembakaran 40 menit dan bumbu 7,5%. Sedangkan nilai L tertinggi dihasilkan pada jarak pembakaran 6,0 cm, lama pembakaran 20 menit, dan bumbu 0%. Nilai L yang berada di bawah 50 menandakan warna ikan bandeng bakar cenderung berwarna gelap.

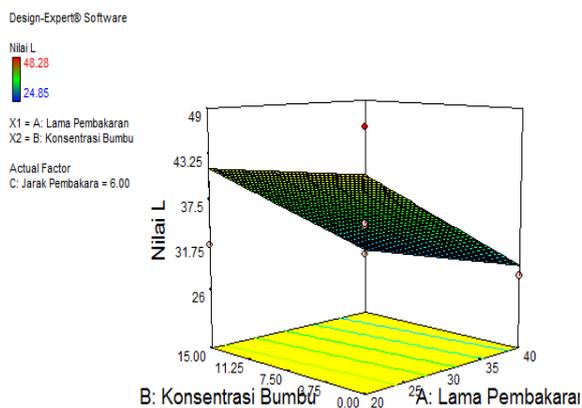
Berdasarkan analisis permodelan dengan menggunakan *Design Expert*® 7, diperoleh model untuk nilai L ikan bandeng bakar adalah *linear*:

$$\text{Nilai L} = 54,3405 - 0,6976 A - 0,1065 B + 0,4412 C$$

Keterangan: A = Lama pembakaran (menit), B = Konsentrasi bumbu (%), C = Jarak pembakaran (cm)

dengan nilai  $R^2$  model adalah 0.6091. Terlihat bahwa kecerahan dari ikan bandeng bakar dipengaruhi oleh konsentrasi bumbu, lama pembakaran dan jarak pembakaran yang digunakan dalam pembuatan ikan bandeng bakar.

Gambar 2 menunjukkan hubungan lama pembakaran dan konsentrasi bumbu dengan nilai L dari ikan bandeng bakar. Terlihat bahwa warna tertinggi didapatkan pada ikan yang dibakar tidak menggunakan bumbu. Penggunaan bumbu cenderung menurunkan nilai L yang menandakan warna menjadi lebih gelap. Hal serupa telah dilaporkan oleh Agerstad dan Skog (2005) yang menemukan bahwa penggunaan bumbu dapat menyebabkan daging berwarna lebih gelap.



Gambar 2. Grafik 3 dimensi hubungan lama pembakaran dan konsentrasi bumbu pada jarak pembakaran 6,0 cm terhadap nilai L ikan bandeng bakar

*Analisis respon Hue*

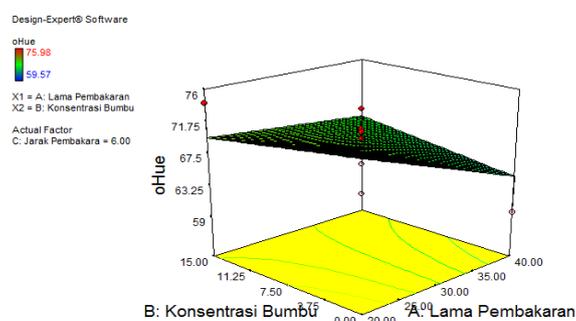
Nilai Hue ikan bandeng bakar berkisar antara 59,57 hingga 75,98. Nilai °Hue terendah dihasilkan pada proses pembakaran dengan jarak pembakaran 6,0 cm, lama pembakaran 40 menit dan bumbu 0%. Nilai °Hue tertinggi dihasilkan pada jarak pembakaran 10,0 cm, lama pembakaran 20 menit, dan bumbu 7,5%. Nilai °Hue ikan bandeng bakar yang berkisar antara 50 hingga 75 menandakan warna ayam dan ikan bakar adalah kuning merah (Hutching, 1999).

Berdasarkan analisis permodelan dengan menggunakan *Design Expert® 7*, diperoleh model untuk nilai Hue ikan bandeng bakar adalah *2FI*:

$$^{\circ}\text{Hue} = 49,3700 + 04610 A - 0,4480 B + 5,1575 C + 0,0202 AB + 0,1426 AC - 0,0232 BC$$

Keterangan: A = Lama pembakaran (menit), B = Konsentrasi bumbu (%), C = Jarak pembakaran (cm)

dengan nilai R<sup>2</sup> model adalah 0,4028. Grafik 3 dimensi yang menunjukkan hubungan respon dan faktor percobaan ditunjukkan pada Gambar 3. Pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai Hue dipengaruhi oleh lama pembakaran dan konsentrasi bumbu. Seluruh data Hue hasil percobaan ikan bandeng bakar menyebar normal.

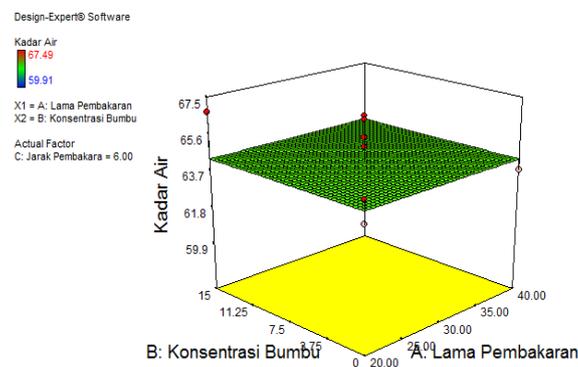


Gambar 3. Grafik 3 dimensi hubungan lama pembakaran dan konsentrasi bumbu pada jarak pembakaran 6,0 cm terhadap nilai °Hue ikan bandeng bakar

### Analisis Respon Kadar Air

Nilai kadar air ikan bandeng bakar berkisar antara 59,91% hingga 67,49%. Nilai kadar air terendah dihasilkan pada proses pembakaran dengan jarak pembakaran 6,0 cm, lama pembakaran 40 menit dan bumbu 7,5%. Kadar air tertinggi dihasilkan pada jarak pembakaran 2,0 cm, lama pembakaran 20 menit, dan bumbu 7,5%.

Berdasarkan analisis permodelan dengan menggunakan *Design Expert*® 7, tidak ditemukan adanya permodelan yang signifikan. Persamaan matematika yang disarankan untuk kadar air ikan bandeng bakar adalah nilai rata-rata (*mean*). Nilai kadar air rata-rata ikan bandeng bakar adalah 64,3464%. Gambar 4 menunjukkan hubungan lama pembakaran dan jarak pembakaran terhadap kadar air ikan bandeng bakar. Terlihat bahwa faktor penelitian tidak mempengaruhi kadar air makanan panggang. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan kandungan PAH pada ikan bandeng tidak perlu berdasarkan *dry weight basis* karena kadar air masing-masing sampel percobaan tidak terlalu berbeda satu sama lain.



Gambar 4. Grafik 3 dimensi hubungan lama pembakaran dan konsentrasi bumbu pada jarak pembakaran 6,0 cm terhadap nilai kadar air ikan bandeng bakar

### Optimasi Pembakaran dengan *Design Expert*® 7

Optimasi dilakukan dengan bantuan *software Design Expert*® 7. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan respon yang sesuai dengan keinginan (*desirability*) peneliti sesuai dengan permodelan yang telah dijelaskan di atas. *Importance* atau kepentingan dari suatu respon akan menentukan proses optimum yang dihasilkan oleh *software* tersebut. Nilai *importance* dari suatu respon dapat dipilih dari nilai 1 (+) hingga 5 (+++++). Semakin tinggi nilai *importance* maka semakin tinggi kepentingan respon tersebut untuk dicapai dalam proses optimum yang dihasilkan.

Komponen dan respon yang akan dioptimasi pada pembuatan ikan bandeng bakar ditunjukkan pada Tabel 2. Respon kandungan PAH pada ikan bandeng bakar dioptimalkan untuk seminimal mungkin. Hal ini dimaksudkan agar kandungan PAH yang terdeteksi pada proses optimum pembuatan ikan bandeng bakar berada di bawah batas yang diperbolehkan yaitu 10 ng/g sampel. *Importance* dari respon tersebut adalah 5 (+++++) dan target dari masing-masing respon adalah *minimize* untuk kandungan PAH. Nilai prediksi yang negatif pada penentuan proses optimum harus dihindari.

Tabel 2. Komponen dan respon yang dioptimasi, target, batas atas dan bawah, serta *importance* pada optimasi proses pembuatan ikan bandeng bakar

Komponen/respon	Goal	Minimum	Maksimum	<i>importance</i>
Lama Pembakaran (menit)	Is in range	20	40	3 (+++)
Konsentrasi bumbu (%)	Is in range	0	15	3 (+++)
Jarak Pembakaran (cm)	Is in range	2	10	3 (+++)
Total PAH (ng/g sampel)	minimize	22,6	207,3	5 (+++++)
Nilai L	Is in range	24,85	48,28	3 (+++)
Nilai °Hue	Is in range	59,57	75,98	3 (+++)
Nilai kadar Air	Is in range	59,91	67,49	3 (+++)

Hasil optimasi pembuatan ikan bandeng bakar dengan menggunakan *Design Expert® 7* untuk komponen dan respon pembuatan ikan bandeng bakar menghasilkan 30 proses optimum dengan nilai *desirability* 1.00. Nilai 1.00 yang ditunjukkan pada optimasi merupakan pembulatan. Proses optimum yang disarankan paling atas (solusi no 1) merupakan proses optimum dengan nilai *desirability* tertinggi. Proses optimum dengan nilai *desirability* tertinggi adalah proses optimum pembuatan ikan bandeng bakar dengan lama pembakaran 24,42 menit, konsentrasi bumbu 4,37%, dan jarak pembakaran 6,48 cm. Perkiraan respons yang dihasilkan dari proses tersebut adalah total PAH 19,71 ng/g sampel, nilai L 39,69, Hue 71,00, dan kadar air 64,35 %.

Penggunaan bumbu pada kisaran 5,0-6,0% diduga dapat menurunkan PAH dari makanan bakar. Komposisi terbanyak dari bumbu kuning adalah bawang merah dan bawang putih. Kedua jenis rempah tersebut terbukti dapat menurunkan PAH dari makanan bakar (Janoszka 2011). Mekanisme yang diduga berperan pada penurunan ini adalah aktivitas antioksidan dari polifenol dan grup sulhidril dari kedua rempah yang akan menghambat reaksi radikal pembentukan PAH. Hal yang sama ditunjukkan pada penelitian ini dimana penggunaan bumbu dapat digunakan untuk mereduksi PAH hingga di bawah batas aman yang diregulasikan oleh Uni Eropa untuk BAP yaitu 10 ng/g.

Hasil penelitian Agerstad dan Skog (2005) menunjukkan adanya pengaruh bumbu dalam peningkatan PAH makanan panggang. Penggunaan bumbu diduga dapat meningkatkan area gosong (*burned*) dari makanan panggang. Mekanisme peningkatan PAH akibat bumbu sendiri belum banyak diteliti sehingga diperlukan studi lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh komponen dalam bumbu terhadap peningkatan PAH.

#### *Verifikasi Nilai Optimum Proses Pembakaran Ikan Bandeng*

Hasil verifikasi dan prediksi nilai optimum pembuatan ikan bandeng bakar ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa dengan proses pembakaran ikan dengan jarak 6,48 cm, lama pembakaran 24,42 menit, dan konsentrasi bumbu 4,37% menghasilkan kandungan total PAH 19,71 ng/g sampel. Seluruh respon penelitian pada hasil verifikasi harus memenuhi syarat standar 95% *prediction interval* (PI).

Nilai total PAH yang didapat pada nilai optimum ini belum memenuhi persyaratan keamanan dari JECFA. Jarak dan lama pembakaran sangat berpengaruh terhadap kandungan PAH dari makanan. Nilai optimum yang didapat dari hasil analisis menunjukkan jarak pembakaran yang cukup tinggi yaitu 6,48 cm dan waktu 24,42 menit.

Dengan kombinasi dan jarak tersebut, reaksi pirolisis dan pirosintesis dari PAH dapat dihambat karena interaksi langsung antara bahan pangan dan sumber api dapat dicegah dengan jarak yang tinggi dan waktu pembakaran yang singkat. Penggunaan bumbu sebesar 4,37% merupakan bumbu yang optimal untuk menurunkan nilai PAH ikan bakar.

Tabel 3. Hasil prediksi dan verifikasi nilai optimum produksi ikan bandeng bakar

Respon	Prediksi	Verifikasi	95% CI low*	95% CI high	95% PI low**	95% PI high
Total PAH (ng/g sampel)	19,71	11,07	7,63	31,79	-9,48	48,90
Nilai L	39,69	40,24	36,24	43,15	29,20	50,19
Nilai °Hue	71,00	68,13	67,21	74,79	60,06	81,94
Nilai Kadar Air (%)	64,35	64,22	63,14	65,55	59,24	69,45

Penggunaan bumbu yang terlalu banyak juga dapat menyebabkan peningkatan PAH seperti yang dilaporkan oleh Rachmawati (2007) yang menunjukkan adanya peningkatan kadar BAP pada ikan bakar yang diberikan bumbu kuning. Bumbu kuning yang digunakan pada penelitian tersebut memiliki komposisi bumbu yang hampir sama dengan yang digunakan dalam penelitian ini.

## Kesimpulan dan Saran

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kandungan total PAH maksimum yang ditemukan pada ikan bandeng bakar adalah 207,3 ng/g sampel
2. Formula optimum untuk ikan bandeng bakar adalah pembakaran dengan lama pembakaran 24,42 menit, konsentrasi bumbu 4,37% dan jarak pembakaran 6,48 cm.
3. Hasil verifikasi formula ikan bandeng bakar menunjukkan kandungan PAH 11,07 ng/g sampel, nilai L 40,24, nilai Hue 68,13 dan nilai kadar air 64,22%.
4. Seluruh nilai prediksi formula ikan bandeng bakar memenuhi 95% *prediction interval*.

### Saran

1. Formula optimum yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk perancangan alat pemanggang yang aman.
2. Perlu penelitian mengenai optimasi pembakaran untuk jenis makanan bakar khas Indonesia yang lain.
3. Penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh matriks sampel (protein, karbohidrat, lemak, abu, dan air) serta pengaruh individual bumbu terhadap konsentrasi PAH yang dihasilkan selama pemanggaan atau pembakaran.

## Ucapan Terima Kasih

Tulisan ini dibuat berdasarkan hasil hibah pendanaan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) Universitas Hasanuddin melalui skim Penelitian Dosen Penasehat Akademik (PDPA) Unhas batch 2 tahun 2019.

## Daftar Pustaka

- Agerstad, M.J., Skog, K. 2005. Review genotoxicity of heat-processed foods. *Mutation Res.* 574: 156-172.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.* Washington DC: Agricultural Chemistry.
- BPS. 2011. *Statistik Indonesia 2011.* Jakarta: Badan Pusat Statistik Press.
- Cano-Lerida, L., Rose, M., Walton, P. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons dalam Bioactive compounds in Food. Gilbert J: Editor. Oxford: Blackwell Publishing.
- Chen J., Chen, S. 2005. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons by low density polyethylene from liquid model and roasted meat. *Food Chem* 90: 461-469.
- Farhadian, A., Jinap, S., Hanifah, H.N., Zaidul, I.S. 2011. Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat. *Food Chem* 124: 141-146.
- Harvey, R.G. 2011. *Historical Overview of Chemical Carcinogenesis dalam Chemical Carcinogenesis.* Penning TM editor. Philadelphia: Springer.
- Hutching, J.B. 1999. *Food Color and Appearance* 2nd ed. Maryland: Aspen Pub.
- Janoszka, B., Warzecha, L., Blaszczyk, B.D. 2004. Organic compounds formed in thermally treated high-protein food part I: polycyclic aromatic hydrocarbons. *Acta Chromatogr* 14: 115-128.
- Pratama, R.B. 2012. *Optimasi Proses Pembakaran untuk Mengurangi Komponen Polisiklik Aromatik Hidrokarbon dalam Ikan Bakar dan Ayam Panggang.* Tesis. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Rachmawati, D. 2007. *Analisis Benzo(a)piren dalam Ikan Bakar secara Kromatografi Kinerja Tinggi.* [Skripsi]. Depok: UI Press.
- Sundararajan, N., Ndife, M., Basel, R., Green, S. 1999. Comparison of sensory properties of hamburgers cooked by conventional and carcinogen reducing safe grill equipment. *Meat Sci* 51: 289-295.