

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Teori

a. Krisis Energi

Krisis energi telah melanda dunia, pada tahun 2013 ini mencapai US\$ 111,07 per barel, atau naik 3,9 persen dari harga akhir tahun 2012 sebesar US\$ 106,90 per barel. Hal ini berdampak pada berbagai sektor, khususnya perekonomian tidak terkecuali Indonesia. Krisis ini terjadi akibat semakin langkanya bahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari bahan-bahan yang bersifat *non renewable* atau tidak dapat diperbarui (Hermantoro, 2013).

Kondisi seperti ini tidak dapat dibiarkan begitu saja, karena semakin lama cadangan minyak dunia khususnya Indonesia, akan semakin menipis. Hal tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan bahan bakar minyak yang berasal dari bahan *renewable* yaitu dengan memanfaatkan tanaman penghasil biodiesel.

Beberapa tanaman yang berpotensi untuk menghasilkan biodiesel antara lain kelapa sawit, kelapa, ketela, kedelai, dan jarak pagar. Dari contoh tersebut, jarak pagar merupakan tanaman yang mempunyai potensi tertinggi karena jarak pagar tidak termasuk minyak makan (*edible oil*) seperti bahan yang lain, sehingga pemanfaatan jarak pagar tidak akan mengganggu pemenuhan kebutuhan minyak makan di Indonesia. Selain itu, kadar biodiesel buah jarak bisa mencapai 80% (B-80), lebih tinggi dari kelapa sawit yang hanya 40% (Budiman dkk., 2008).

Kelangkaan bahan bakar minyak, yang disebabkan oleh kenaikan harga minyak dunia yang signifikan, telah mendorong pemerintah untuk mengajak masyarakat mengatasi masalah energi bersama-sama. Penghematan bahan bakar sebetulnya harus telah digerakkan sejak dahulu karena pasokan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi adalah sumber energi fosil yang tidak dapat diperbarui (*unrenewable*), sedangkan permintaan naik terus, demikian pula harganya sehingga tidak ada stabilitas keseimbangan permintaan dan penawaran.

Kebutuhan bahan bakar bagi penduduk berpendapatan rendah maupun miskin, terutama di pedesaan, sebagian besar dipenuhi oleh kayu bakar yang memang dirasakan terjangkau karena disubsidi oleh pemerintah terbatas. Namun karena digunakan untuk industri atau usaha lainnya, kadang-kadang terjadi kelangkaan persediaan minyak bakar di pasar. Selain itu masyarakat yang tinggal di dekat

kawasan hutan berusaha mencari kayu bakar, baik dari ranting kering dan tidak jarang pula menebangi pohon di hutan yang terlarang untuk ditebangi, sehingga lambat laun mengancam kelestarian alam di sekitar kawasan hutan.

Ketergantungan energi Indonesia kepada bahan bakar minyak dan gas sangat tinggi, akibatnya ketika Pemerintah Pusat memutuskan kenaikan harga BBM dan gas baru-baru ini, dampaknya bukan hanya dirasakan oleh rakyat saja, akan tetapi juga dirasakan oleh Pemerintah Daerah yang terpaksa harus merevisi APBD-nya masing-masing, untuk menyesuaikan asumsi dasar belanja daerah (Sopian, 2005).

Energi dianggap sebagai salah satu prasarana dalam mencapai kesejahteraan sebuah daerah mengingat energi dibutuhkan untuk keperluan transportasi, industri dan rumah tangga. Masalah energi alternatif kini menjadi perbincangan yang ramai di masyarakat. Krisis bahan bakar minyak (BBM) telah menggugah masyarakat Indonesia untuk tidak bergantung pada energi minyak bumi.

Krisis selain sebagai batu ujian, juga telah memunculkan ide-ide besar dan kreatif mengatasi masa-masa sulit. Selain itu, krisis energi menjadi momentum bagi pemerintah untuk menyiapkan kebijakan yang mendukung penggunaan biodiesel. Bahan bakar minyak dari fosil makin sulit ditemukan sehingga harganya terus naik. Padahal, Indonesia memiliki potensi alam untuk dikembangkan menjadi bahan bakar alternatif yang produksinya bisa dilakukan rakyat karena prosesnya sederhana.

Beberapa alasan mengapa penggunaan BBM alternatif menjadi penting. Pertama, menurut data Pertamina, kebutuhan konsumsi BBM dalam negeri kini mencapai 1,15 juta barel per hari. Sementara itu, kemampuan produksi Indonesia hanya 950.000 barel per hari. Dengan kondisi ini, tak heran jika ketergantungan terhadap impor BBM terus meningkat. Kedua, makin menurunnya investasi pencarian karena cadangan minyak bumi kian menipis dan diperkirakan habis dalam waktu 10 tahun ke depan. Ketiga, harga minyak dunia terus melambung mencapai US\$60-US\$70 per barel.

Sebetulnya sumber energi alternatif cukup tersedia. Misalnya, energi matahari di musim kemarau atau musim kering, energi angin dan air. Tenaga air memang paling banyak dimanfaatkan dalam bentuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA), namun bagi sumber energi lain belum kelihatan secara signifikan. Energi terbarukan lain yang dapat dihasilkan dengan teknologi tepat guna yang relatif lebih sederhana dan sesuai untuk daerah pedesaan adalah jarak pagar.

b. Limbah Jarak Pagar

Pengembangan tanaman jarak pagar (*Jatropha Curcas L*) sebagai bahan bakar alternatif mempunyai potensi yang sangat besar, selain menghasilkan minyak dengan produktivitas tinggi, dapat juga dijadikan bahan untuk pembuatan biobriket. Pengolahan biji jarak menghasilkan randemen minyak sebesar 30%, dengan randemen yang besar tersebut, maka akan diperoleh 70% limbah atau bungkil biji jarak pagar yang masih mengandung sisa minyak yang cukup tinggi. Sampai saat ini limbah tersebut belum banyak dimanfaatkan. Bungkil jarak pagar merupakan bahan yang paling tepat dalam pembuatan biobriket (Budiman dkk., 2008).

c. Limbah Pertanian

1) Arang Sekam Padi

Limbah sering diartikan sebagai bahan buangan/bahan sisa dari proses pengolahan hasil pertanian. Proses penghancuran limbah secara alami berlangsung lambat, sehingga limbah tidak saja mengganggu lingkungan sekitarnya tetapi juga mengganggu kesehatan manusia. Pada setiap penggilingan padi akan selalu terlihat tumpukan bahkan gunungan sekam yang semakin lama semakin tinggi. Saat ini pemanfaatan sekam padi masih sangat sedikit, sehingga sekam tetap menjadi bahan limbah yang mengganggu lingkungan.

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi *kariopsis* yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah. Penggunaan energi sekam bertujuan untuk menekan biaya pengeluaran untuk bahan bakar bagi rumah tangga petani. Penggunaan Bahan Bakar minyak yang harganya terus meningkat akan berpengaruh terhadap biaya rumah tangga yang harus dikeluarkan setiap harinya (Balitbang Pertanian, 2007).

Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak antara 8- 12% dan beras giling antara 50-63,5% data bobot awal gabah. Sekam dengan persentase yang tinggi tersebut dapat menimbulkan problem lingkungan. Ditinjau data komposisi kimiawi, sekam mengandung beberapa unsur

kimia penting. Sekam dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan di antaranya: (a) sebagai bahan baku pada industri kimia, terutama kandungan zat kimia furfural yang dapat digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai industri kimia, (b) sebagai bahan baku pada industri bahan bangunan, terutama kandungan silika (SiO_2) yang dapat digunakan untuk campuran pada pembuatan semen portland, bahan isolasi, *husk-board* dan campuran pada industri bata merah, (c) sebagai sumber energi panas pada berbagai keperluan manusia, kadar selulosa yang cukup tinggi dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil. Sekam memiliki kerapatan jenis (*bulk densil*) 125 kg/m³, dengan nilai kalori 1 kg sekam sebesar 3300 k. kalori. Menurut Houston (1972) sekam memiliki *bulk density* 0,100 g/ml, nilai kalori antara 3300 -3600 k. kalori/kg sekam dengan konduktivitas panas 0,271 BTU (**Balitbang Pertanian, 2007**).

2) Arang Jerami

Jerami kering, secara alamiah adalah batang kering yang di dalamnya berisi udara. Secara individual atau satu persatu, batang jerami tidak akan mampu memenuhi tugasnya sebagai bahan dengan tingkat insulasi yang tinggi, namun penggabungan beberapa batang jerami menjadi satu ikatan misalnya, akan menghasilkan suatu elemen yang tebal dan memiliki rongga udara di dalamnya secara otomatis. Pemilihan jerami sebagai objek yang diujikan didasarkan pada alasan bahwa limbah ini tersedia melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan adanya limbah jerami ini, maka kebutuhan akan bahan bakar alternatif biobriket dapat dipenuhi dengan harga yang lebih rendah (Lacinski and Bergeron 2006).

d. Limbah Serbuk Gergaji Kayu

Permasalahan yang sering muncul dalam usaha penggergajian kayu adalah limbah yang dihasilkan masih ditumpuk, sebagian dibuang ke aliran sungai yang menimbulkan pencemaran air, atau dibakar secara langsung yang berdampak pada meningkatnya emisi karbon di atmosfer. Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 2.6 juta m³ per tahun (Forestry Statistics of Indonesia 1997/1998). Dengan asumsi bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54.24 persen dari produksi total maka dihasilkan limbah penggergajian sebanyak 81.4 juta m³ per tahun; angka ini cukup besar karena mencapai sekitar separuh dari produksi kayu gergajian.

Pada industri besar dan terpadu, limbah serbuk kayu gergajian sudah dimanfaatkan menjadi bentuk briket arang dan arang aktif yang dijual secara komersial. Namun untuk industri penggergajian kayu skala industri kecil yang berada di pedesaan, limbah ini belum dimanfaatkan secara optimal, limbah kayu gergajian yang dihasilkan dibuang ke tepi sungai sehingga terjadi proses pendangkalan dan pengecilan ruas sungai.

e. Biobriket

Produk utama dari tanaman jarak pagar adalah minyak. Namun, kadar minyak dalam biji jarak pagar hanya 25-35%. Dengan demikian masih terdapat potensi sebesar 75%-65% yang dapat dimanfaatkan dari buah jarak. Sisa bahan berupa bungkil dan *sludge* dapat dimanfaatkan untuk membuat produk yang bernilai ekonomi tinggi. Produk yang dihasilkan dari sisa produk utama lazim disebut produk sampingan (biobriket) yaitu bahan bakar berujud padat.

Untuk membuat biobriket, bungkil dan *sludge* jarak dicampurkan dengan bahan tambahan berupa arang sekam, arang jerami atau serbuk gergaji dan bahan perekat berupa lem kanji singkong (tapioka). Dapat pula dicampur tempurung biji jarak dan ranting-ranting tanaman pagar jarak. Jika memungkinkan, biobriket ini juga bisa diperkaya dengan tempurung kelapa.

Sekam juga dapat digunakan sebagai bahan campuran biobriket. Sekam ini dipilih dengan pertimbangan bahwa, sekam padi tersedia cukup banyak dan mampu menghasilkan energi panas mencapai 400°C. Sebagai bahan pencampur biobriket, sekam padi dapat langsung dicampurkan. Namun, akan lebih baik jika sekam dibakar terlebih dahulu hingga menjadi arang atau sudah dikarbonisasi. Jika sekam dijadikan arang, biobriket yang dihasilkan nantinya akan mengeluarkan asap relatif lebih sedikit ketika dibakar.

1) Bahan pembuatan biobriket

Dalam pembuatan biobriket, agar dihasilkan briket yang berkualitas, komposisi bahan untuk membuat briket adalah bungkil jarak pagar, *sludge*, daun, ranting, limbah pertanian, dan lem kanji. Menurut penelitian, kalori biobriket adalah 5.500 kal, sebanding dengan briket batu bara (muda). Kualitas briket yang dihasilkan tergantung pada perbandingan bungkil dan arang sekam, konsentrasi pati yang digunakan, kekuatan pengepresan, dan tingkat kekeringan briket. Semakin banyak arang sekam yang digunakan, briket yang dihasilkan akan

semakin rapuh dan jumlah lem kanji yang dibutuhkan juga semakin banyak. Hal ini disebabkan arang cenderung menyerap air lebih banyak.

2) Proses pembuatan biobriket

Pembuatan biobriket dilakukan dengan tahapan seperti berikut:

a) Persiapan bahan

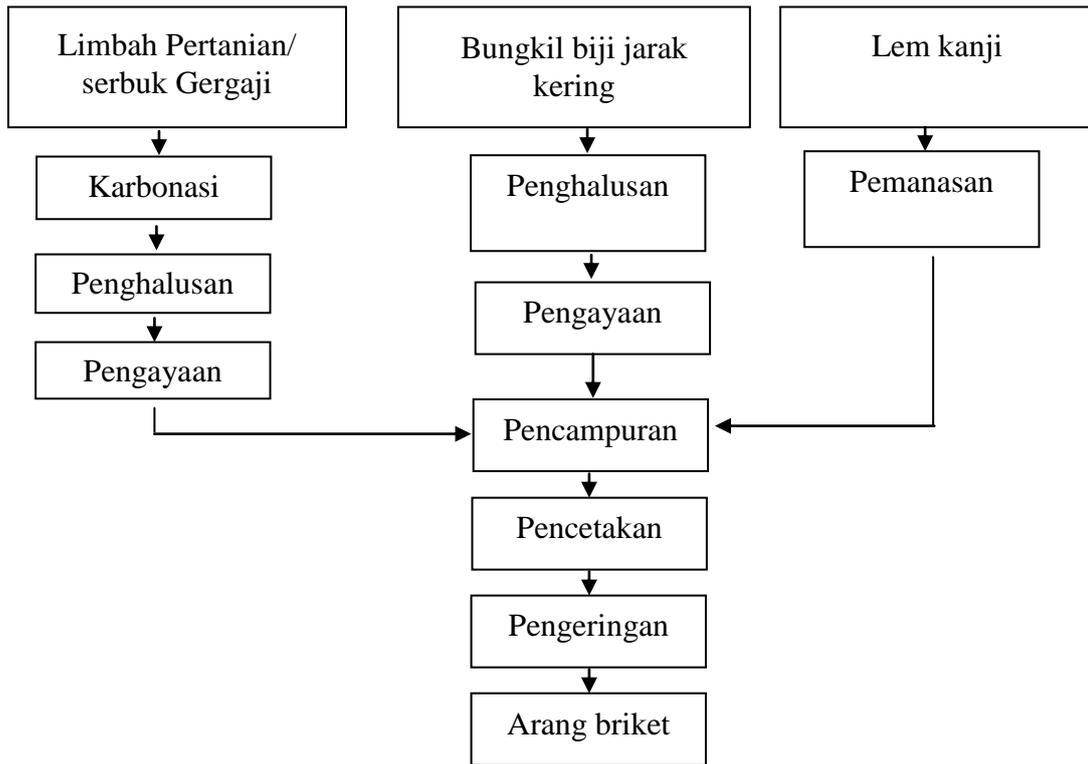
- (1) Limbah pertanian dan serbuk gergaji dikarbonisasi dalam wadah tertutup selama 45-60 menit, dihaluskan, dan diayak sehingga diperoleh ukuran yang seragam. Dengan proses karbonisasi, sekam tidak akan langsung menjadi abu, tetapi akan menjadi kristal berwarna hitam pekat yang mengandung unsur karbon (C) tinggi. Komposisi Limbah pertanian atau serbuk gergaji rata-rata 25%.
- (2) Bungkil jarak dan *sludge* dikeringkan, dihaluskan, dan diayak sehingga diperoleh ukuran yang seragam. Komposisi limbah bungkil jarak dan *sludge* ini rata-rata 58%.
- (3) Lem kanji singkong 1% sampai dengan 17% dipanaskan pada suhu 75°C selama 30 menit. Selama pemanasan, lem kanji diaduk secara kontinyu agar panas yang diterima merata dan tidak terjadi pengumpulan di bagian bawah.

b) Pencampuran dan Pencetakan

Pencampuran dapat dilakukan secara manual dengan peralatan sederhana seperti cangkul. Pencetakan dapat dilakukan menggunakan mesin press atau secara manual menggunakan pralon dengan diameter dan panjang tertentu. Campuran bahan briket dimasukkan ke dalam cetakan hingga merata pada permukaan. Dalam pengepresan ini dilakukan penahanan agar briket yang dihasilkan benar-benar padat.

c) Pengeringan

Pengeringan biobriket dilakukan dengan cara menjemurnya dibawah sinar matahari langsung selama 2 sampai 3 hari hingga briket terasa ringan bila diangkat. Briket juga bisa dikeringkan dalam oven yang dipanaskan dengan minyak jarak. Berat rata-rata briket basah adalah 30 gram dan saat kering akan berat rata-rata setelah kering adalah 22 gram.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan BioBriquet

f. Pengertian Bahan Bakar

Bahan bakar padat yang terdapat di bumi kita ini berasal dari zat – zat organik. Bahan bakar padat mengandung unsur – unsur antara lain : zat arang atau karbon (C), Hidrogen (H), zat asam atau Oksigen (O), zat lemas atau Nitrogen (N), Belerang (S), Abu dan air, yang semuanya itu terikat dalam satu persenyawaan kimia. Pembakaran bahan bakar padat memerlukan tahapan tertentu sebelum terjadi proses pembakaran. Adapun beberapa tahapan dalam pembakaran bahan bakar padat adalah pengeringan, devolatilisasi dan pembakaran arang. Ditinjau dari sudut teknis dan ekonomis, bahan bakar diartikan sebagai bahan yang dikonsumsi untuk menghasilkan energi berupa kalor. Bahan bakar dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok:

- 1) Bahan yang dikonsumsi dalam proses pembakaran reaksi kimia.
- 2) Bahan yang digunakan pada reaktor nuklir - reaksi inti.
- 3) Bahan yang dikonsumsi oleh makhluk hidup untuk metabolisme.

g. Pengertian Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Pembakaran sempurna adalah pembakaran dimana semua konstituen yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO₂, air (H₂O), dan gas SO₂, sehingga tak ada lagi bahan yang dapat terbakar tersisa.

h. Pengujian Kadar Air

Prinsip pengujian nilai kadar air adalah besarnya air yang terkandung dalam suatu bahan atau produk yang akan menguap seluruhnya apabila bahan tersebut dipanaskan pada suhu 105°C. Untuk mengetahui kadar air dari bahan kering dilakukan pengeringan menggunakan oven listrik dan dirumuskan sebagai berikut :

$$KA = \frac{BB - BK}{BB} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

dengan KA = kadar air, BB = berat briket basah, BK = berat briket kering

i. Penerapan Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Genechi Taguchi pada tahun 1940 yang bertujuan untuk mengoptimalkan proses eksperimen. Metode taguchi berkembang berdasarkan pendekatan yang secara keseluruhan berbeda dengan metode konvensional dalam rekayasa kualitas. Dalam pengendalian kualitas Taguchi telah menggabungkan falsafah-falsafah besar yang ada pada industri manufaktur. Pendekatan metode Taguchi pada rancangan eksperimen diharapkan mampu menghasilkan pengembangan kualitas yang kokoh (*robust*) terhadap faktor *noise*.

a) Kontribusi Taguchi Untuk Disain Eksperimen Dan Pengembangan Kualitas

Salah satu tujuan dari pengembangan kualitas adalah mendisain kualitas ke dalam setiap produk dan proses. Disain eksperimen merupakan elemen utama dari aktivitas tersebut. Genechi Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan disain eksperimen yang berguna untuk :

- (1) Meminimumkan variasi di sekitar nilai target
- (2) Mendisain produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap kondisi lingkungan.
- (3) Mengembangkan produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap variasi komponen.

Robust berarti produk atau proses yang secara konsisten berada pada target dan relatif tidak sensitif terhadap faktor yang sulit dikontrol. Taguchi menghubungkan tiga tujuan di atas pada pendekatan *parameter design*.

b) Filosofi Taguchi

Genechi Taguchi memperkenalkan pendekatan metode yang dilandasi oleh tiga konsep mendasar, yang dikenal dengan Filosofi Taguchi yaitu :

- (1) Kualitas harus didisain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya atau inspeksi.
- (2) Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didisain sehingga *robust* terhadap faktor noise.
- (3) Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standart tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Berdasarkan observasi yang dilakukan oleh Taguchi disebutkan bahwa 85 % kualitas yang buruk disebabkan oleh proses manufaktur dan hanya 15 % yang disebabkan oleh operator. Dari keadaan ini Taguchi kemudian mengembangkan sistem manufaktur yang *robust* (kokoh) atau tidak mudah dipengaruhi variasi lingkungan keseharian dan musiman, pemakaian mesin dan faktor eksperimen lainnya. Tiga prinsip tersebut merupakan pedoman bagi Taguchi di dalam mengembangkan sistem ini, menguji faktor-faktor yang mempunyai kualitas produk dan spesifikasi parameter produk.

Pengendalian kualitas dapat dibagi ke dalam dua tahap yaitu :

- (1) Pengendalian kualitas “*off line*” berhubungan dengan aktivitas selama pengembangan produk dan disain proses. Aktivitas yang dilakukan adalah :
 - (a) Mengidentifikasikan kebutuhan konsumen dan yang diharapkan oleh konsumen.
 - (b) Mendisain produk yang sesuai dengan harapan konsumen.
 - (c) Mendisain produk secara konsisten dan secara ekonomi menguntungkan.
 - (d) Mengembangkan secara jelas dan cukup spesifik standar, prosedur dan peralatan untuk pembuatan.
- (2). Pengendalian kualitas “*On-line*” berhubungan dengan proses selama produksi
Pengendalian kualitas “*On-line*” berarti memelihara kekonsistenan produk dan proses sehingga meminimumkan variasi antar unit. Hal ini perlu dilakukan yang tinggi secara serentak.

Pendekatan metode disain eksperimen Taguchi digunakan dalam lingkup penerapan yang luas, akan tetapi secara khusus teknik Taguchi diterapkan pada pengendalian kualitas “*Off-line*”. Pengendalian kualitas dibedakan menjadi tiga tahap:

(1) Disain Sistem /konsep (*Primary design*)

Pada tahap ini dihasilkan konsep, ide dan metode baru untuk pengembangan produk/teknologi untuk memenuhi kebutuhan konsumen yang ditekankan pada pencapaian target dengan tingkat biaya terendah. Tahap disain memerlukan pengetahuan teknis yang luas dan mendalam untuk menilai pengembangan produk atau proses (tidak memerlukan perancangan eksperimen).

(2) Disain parameter (*Secondary design*)

Dalam tahap perancangan parameter berkaitan dengan penekanan biaya dan meningkatkan kualitas dengan menggunakan metode perancangan eksperimen yang efektif. Hal ini termasuk penentuan nilai-nilai parameter yang kurang sensitif terhadap faktor *noise*. Jika tujuannya adalah untuk merancang proses atau produk dengan stabilitas dan keandalan yang tinggi, maka perancangan parameter adalah langkah terpenting. Pada tahap ini juga dicari kombinasi level parameter yang dapat mengurangi faktor *noise*. Tahap ini adalah tahap utama dalam perancangan kokoh agar produk atau proses, mempunyai keandalan yang tinggi, walaupun material yang digunakan tidak mahal, mempunyai keragaman tinggi dan mudah rusak (aus). Faktor *noise* digolongkan tiga macam, yaitu :

(a) Gangguan eksternal (*External noise*)

Eksternal noise berkaitan dengan lingkungan atau kondisi yang mempengaruhi fungsi ideal dari produk. Misalnya temperatur ulang, kelembaban, debu, daya listrik, pengaruh elektromagnetik, getaran dan kesalahan manusia dalam mengoperasikan produk.

(b) Gangguan antar unit (*Unit-to unit noise*)

Keragaman dari unit ke unit berkaitan dengan faktor yang menyebabkan perbedaan antara tiap produk yang telah dibuat dalam spesifikasi yang sama. Variasi ini tidak dapat dielakkan dalam proses pembuatan dan mengarah pada keragaman dalam parameter produk sutau unit ke unit lainnya. Misalnya, nilai kekuatan tekan (*Compression Strength*) dispesifikasikan 60 kg/cm², tetapi nilai yang keluar pada suatu produk mungkin 70 kg/cm² dan 50 kg/cm² pada produk yang lain.

(c) *Internal noise (Deterioration noise)*

Internal noise berkaitan dengan faktor yang menyebabkan produk menjadi aus sehingga tidak mencapai target. Misal produk menjadi aus karena usia pakainya meningkat.

(3) *Disain toleransi (Tertiary design)*

Tahap ini berkaitan dengan pengendalian faktor-faktor yang mempengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen mutu tinggi dan biaya yang tidak dapat dielakan. Setelah sistem dirancang (melalui *system design*) dan nilai tengah parameternya telah ditentukan (melalui *parameter design*), langkah berikutnya membuat toleransi parameter (melalui *tolerance design*). Faktor *noise*, termasuk juga parameter sistem dimasukkan dalam disain eksperimen untuk menentukan dampaknya pada karakteristik output. Toleransi yang lebih sempit harus diberikan pada faktor *noise* yang mempunyai pengaruh terbesar pada karakteristik output. Setelah proses produksi ditentukan, keragaman dalam produk mungkin diakibatkan oleh keragaman dari material, komponen yang berbeda, keausan alat, kerusakan mesin dan kesalahan manusia. Semua sumber keragaman ini berkaitan dengan *on-line quality control* selama proses produksi normal berlangsung. Terdapat 3 bentuk *on-line quality control*, yaitu :

- (a) Proses diagnosis dan penyesuaian
- (b) Prediksi dan koreksi
- (c) Pengukuran dan tindakan

c) *Rasio Signal to Noise*

Rasio S/N didefinisikan sebagai logaritma dari rata-rata kuadrat simpangan dari nilai target sebagai berikut :

$$S/N = -10 \log (\text{MSD}) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana MSD adalah rata-rata kuadrat simpangan. *Rasio signal to noise* merupakan hasil transformasi dari beberapa replikasi data sehingga nilainya mewakili kualitas penyajian variasi. Menurut Ross (1996), Nilai MSD dapat dihitung berdasarkan pada karakteristik kualitas dari suatu respon dan dirumuskan sebagai berikut:

(1) *Smaller the better*

$$\text{MSD} = (Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_N^2) / N \dots\dots\dots(3)$$

(2) *Nominal the better*

$$MSD = [(Y_1-m)^2 + (Y_2-m)^2 + \dots + (Y_N-m)^2] / N \dots\dots\dots(4)$$

(3) *Larger the better*

$$MSD = (1/Y_1^2 + 1/Y_2^2 + \dots + 1/Y_N^2) / N \dots\dots\dots(5)$$

Dimana : Y_i = nilai hasil pengamatan

m = nilai target eksperimen

N = jumlah pengulangan

Nilai rasio S/N yang tertinggi menunjukkan level faktor yang optimum pada eksperimen yang dilakukan. Jika nilai S/N semakin besar maka nilai MSD semakin kecil, dan jika S/N semakin kecil maka nilai MSD semakin besar.

Penggunaan rasio S/N memberikan keuntungan sebagai berikut :

- (1) Memberikan perbandingan yang obyektif dari dua atau lebih data pengamatan dengan memperhatikan variasi di sekitar target dan simpangan nilai rata-rata pengamatan dari nilai target secara serentak.
- (2) Memberikan gambaran pada pemilihan level-level faktor yang optimum berdasarkan pada variasi di sekitar target yang terkecil dan pada nilai rata-rata terdekat pada nilai target.

d) Loss Function

Dalam pengendalian kualitas, Taguchi mengembangkan konsep *loss function* yang didasarkan pada total simpangan kuantitas dari karakteristik kualitas yang ditargetkan. Pada simpangan nol, maka produk tepat seperti apa yang ditargetkan dan kerugian atau *loss function* sama dengan nol.

Pada saat produk atau proses kinerjanya menyimpang dari target, maka loss yang terjadi pada pelanggan dapat dihitung. Menurut Taguchi jika $L(y)$ menyatakan loss disebabkan oleh simpangan kinerja yang kecil $(y-m)$ dari target m , maka dengan pemakaian deret Taylor dapat ditulis :

$$L(y) = L(m+y-m) \dots\dots\dots(6)$$

Pada saat $y = m$ berarti performansi tepat pada target, sehingga pada titik ini *loss to society* bernilai nol. Untuk turunan pertama $L'(m)$ mempunyai nilai nol karena $L(m)$ minimum.

$$L(y) = k(y-m)^2 \dots\dots\dots(7)$$

Dimana $k = L''(m) / 2!$ adalah konstan.

Nilai k menyatakan nilai koefisien dari fungsi kerugian. Nilai k dibuat oleh Taguchi dengan menentukan nilai perhitungan dari fungsi kerugian yang sedekat

mungkin terhadap target dengan batas toleransi kualitas. Jika simpangan fungsi karakteristik produk sebesar Δ dari nilai target m , dan nilai *loss* sebesar A maka persamaan 6 menjadi :

$$A = k \Delta^2 \dots\dots\dots(8)$$

$$K = A/\Delta^2 \dots\dots\dots(9)$$

Untuk produk masal, *mean* kerugian/unit adalah :

$$L'(y) = k(y-m)^2 / n \dots\dots\dots(10)$$

$$= k (\text{MSD}) \dots\dots\dots(11)$$

Fungsi kerugian dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu :

(1) *Smaller the better*

$$L(y) = k (y-m)^2 \dots\dots\dots(12)$$

(2) *Nominal the better*

$$L(y) = k(y)^2 \dots\dots\dots(13)$$

(3) *Larger the better*

$$L(y) = k(1/y)^2 \dots\dots\dots(14)$$

e) Prinsip Kerja Metode Taguchi

(1) Pemilihan Dan Penyesuaian *Orthogonal Array* (OA)

Menurut Ross (1996), *Orthogonal Array* adalah suatu matriks yang elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor atau kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan keadaan dari faktor. *Array* disebut *orthogonal* karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam eksperimen. Jadi *Orthogonal Array* adalah matriks seimbang dari faktor dan level, sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur (*counfounded*) dengan pengaruh faktor atau level yang lain. OA membutuhkan eksperimen yang lebih sedikit dalam mengevaluasi beberapa faktor sehingga memberikan eksperimen yang lebih efisien dengan tetap tidak kehilangan informasi dari eksperimen yang diamati. Setelah menentukan jumlah faktor, jumlah taraf masing-masing faktor dan interaksi antar faktor, maka dalam penyusunan *Orthogonal Array* diperlukan perhitungan jumlah total derajat bebas. Jumlah total derajat bebas adalah merupakan minimal baris dalam OA, atau paling sedikit sama dengan banyaknya eksperimen yang harus dilakukan. Sehingga pemilihan OA yang sesuai dengan

barisnya tidak boleh kurang dari jumlah total derajat bebas. OA yang sesuai dapat dilihat dari salah satu OA standar yang diberikan oleh Taguchi.

(2) Perancangan Eksperimen Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metode dalam bidang *engineering* yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk/proses dalam waktu yang bersamaan untuk menekan sumber daya dan *loss function*. Sehingga diharapkan dapat mencapai target dan produk/proses tidak sensitif terhadap *noise*.

Menurut Belavendram (1995), suatu teknik untuk mendefinisikan dan menyelidiki semua kondisi yang mungkin dalam suatu eksperimen yang melibatkan *multiple* faktor disebut disain eksperimen. Dalam hal ini disain eksperimen cukup efektif bila faktor dan level di tiap faktor yang terlihat dalam tiap percobaan relatif kecil jumlahnya, misal terdapat 2 faktor dengan masing-masing 2 level, maka akan dihasilkan kombinasi sebanyak 2^2 (4) kombinasi yang mungkin. Tetapi bila jumlah faktor sangat banyak, misalnya 15 faktor dengan masing-masing 2 level, akan tetapi terdapat 2^{15} (32.768) kombinasi yang mungkin. Hal ini tentu sangat tidak efisien dalam hal waktu, biaya maupun tenaga.

Untuk mengatasi hal ini, Genechi Taguchi mengusulkan suatu teknik untuk menyederhanakan eksperimen tanpa mengurangi esensi dari percobaan. Taguchi melakukan pendekatan dengan *Fractional Factorial Eksperimen* (FFE) yang standar dan konsisten sehingga meningkatkan efisiensi dari percobaan yang akan dilakukan. Ia membangun beberapa FFE yang dapat digunakan pada berbagai situasi. Pada FFE ini dipilih beberapa kondisi perlakuan untuk tetap mempertahankan prinsip orthogonalitas diantara berbagai faktor dan kombinasi.

(a) *Robust Design*

Salah satu tujuan dari eksperimen pada parameter disain adalah untuk menyusun satu kombinasi faktor-faktor yang kokoh (*robust*) terhadap adanya faktor-faktor pengganggu (*noise*), dimana faktor-faktor *noise* ini tidak dapat/sulit dikendalikan, dan menyebabkan timbulnya variabilitas yang tinggi pada produk. Dengan adanya kombinasi yang optimal dari faktor-faktor kontrol, maka proses / produk akan tahan terhadap adanya gangguan tersebut.

(b) Disain Parameter Taguchi

Dalam upaya meningkatkan kualitas produk dan memperkecil variabilitas yang terjadi, Taguchi memperkenalkan upaya-upaya yang dapat ditempuh guna menghasilkan produk dengan tingkat variabilitas yang kecil, dengan mengatur parameter-parameter yang mempengaruhinya pada tingkat yang paling kurang sensitif terhadap faktor gangguan (*noise*). Cara ini dikenal dengan disain parameter Taguchi, yang ditujukan terutama untuk meningkatkan kualitas tanpa menghilangkan penyebab timbulnya variabilitas. Untuk meningkatkan kualitas produk Taguchi membagi atas 3 hal :

(i) Disain Sistem

Disain sistem adalah upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode-metode baru dan sebagainya dimunculkan untuk memberikan peningkatan produk kepada pemakai. Sebagai salah satu cara untuk memenangkan persaingan yaitu dengan terus mengembangkan teknologi baru, sehingga dalam hal ini konsep-konsep, metode maupun penemuan baru sangat bermanfaat dalam disain sistem.

(ii) Disain Parameter

Disain parameter adalah hal yang sangat penting dalam upaya meningkatkan keseragaman produk atau mencegah tingginya variabilitas. Pada tahap ini parameter-parameter dari produk/proses tertentu ditetapkan untuk menghasilkan performansi produk menjadi kurang /tidak sensitif terhadap penyebab terjadinya variabilitas. Disain eksperimen dilakukan untuk mendapatkan kondisi faktor-faktor yang tahan terhadap penyebab timbulnya variabilitas.

(iii) Disain Toleransi

Pada disain toleransi ini, kualitas ditingkatkan dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk / proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk. Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini menerapkan langkah-langkah prinsip disain parameter, yaitu melakukan eksperimen guna menentukan faktor dominan yang berpengaruh terhadap peningkatan kualitas furan dan menentukan kombinasi faktor-faktor dimana kombinasi tersebut tahan terhadap penyebab timbulnya variabilitas.

(c) Langkah-langkah dalam melakukan eksperimen :

Taguchi mengusulkan langkah-langkah yang sistematis dalam melakukan eksperimen yaitu sebagai berikut :

(i) Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan

Yaitu mendefinisikan dengan sejelas mungkin permasalahan yang dihadapi untuk dilakukan suatu upaya perbaikan.

(ii) Penentuan tujuan penelitian

Meliputi pengidentifikasian karakteristik kualitas dan tingkat performansi dari eksperimen.

(iii) Menentukan metode pengukuran

Menentukan bagaimanakah parameter-parameter yang diamati akan diukur, bagaimana cara pengukurannya dan peralatan yang diperlukan.

(iv) Identifikasi faktor

Tahap ini adalah melakukan pendekatan yang sistematis guna menemukan penyebab permasalahan. Untuk mendapatkan gambaran mengenai faktor yang akan diteliti, maka langkah-langkah yang dapat ditempuh adalah sebagai berikut :

(3) *Brainstorming*

Brainstorming adalah suatu cara mendorong timbulnya gagasan yang mungkin sebanyak-banyaknya dengan memberikan kesempatan proses pemikiran kreatif setiap orang dalam kelompok untuk mengajukan pendapatnya. Langkah-langkah yang ditempuh dalam *brainstorming* adalah sebagai berikut :

(a) Mengumpulkan gagasan-gagasan mengenai penyebab dari permasalahan yang timbul pada perusahaan.

(b) Mencatat semua gagasan yang masuk tanpa kecuali, sehingga dapat mengetahui pendapat dari banyak orang mengenai permasalahan yang ada.

(c) Mengelompokkan gagasan-gagasan tersebut. Gagasan-gagasan yang sejenis dikelompokkan dalam satu kelompok.

(d) Menyimpulkan gagasan-gagasan yang mungkin menjadi penyebab permasalahan yang timbul pada perusahaan

(4) Diagram Sebab Akibat (*Ishikawa Diagram*)

Diagram ini berguna untuk menggambarkan mengenai sebab akibat dari proses yang diamati. Dalam diagram sebab akibat ini digambarkan penyebab

utama maupun penyebab sampingan, yang mempunyai akibat tertentu dan hubungan yang mungkin timbul diantara masing-masing penyebab. Pada Diagram sebab akibat ini karakteristik kualitas yang diamati dibuat garis lurus memotong diagram (*effect*).

Faktor-faktor yang diduga menjadi penyebab permasalahan ditunjukkan oleh anak panah yang menuju cabang utama.

(5) Memisahkan faktor kontrol dan *noise* faktor

Untuk memulai langkah dalam disain parameter Taguchi, hal yang harus diketahui adalah jenis-jenis faktor yang mempengaruhi karakteristik proses/ produk. Taguchi membedakan faktor ke dalam dua golongan besar yaitu :

(a) Faktor kontrol

Yaitu faktor yang sudah ditetapkan nilainya oleh perancangannya, dan nilainya dapat dikontrol. Sebuah faktor kontrol biasanya mempunyai satu atau lebih yang disebut dengan level. Pada akhir eksperimen level yang sesuai dari faktor kontrol dapat dipilih. Satu aspek dari disain yang *robust* adalah memilih setting level kontrol faktor yang optimal, yang membuat karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*.

(b) Faktor *noise*

Adalah faktor yang dapat menyebabkan penyimpangan dari karakteristik kualitas dari nilai target. Faktor ini tidak dapat/sulit untuk dikontrol, dapat memakan biaya yang sangat besar sehingga tidak ekonomis untuk dikontrol.

(6) Menentukan level dari faktor dan nilai faktor

Penentuan level ini menentukan jumlah derajat bebas yang akan digunakan dalam pemilihan *Orthogonal Array*.

(7) Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi.

Apabila pengaruh dari suatu faktor tergantung dari level faktor lain, dikatakan terjadi suatu interaksi.

(8) Menggambar *linear graph* yang diperlukan untuk faktor kontrol dan interaksi.

Penggambaran *linear graph* ini untuk menentukan penempatan faktor-faktor serta interaksi yang mungkin digunakan pada kolom-kolom dalam *Orthogonal Array*. Taguchi telah menetapkan beberapa *linear graph* untuk mempermudah mengatur faktor-faktor dari interaksi ke dalam kolom.

(9) Memilih Orthogonal Array

Orthogonal Array adalah matrik dari sejumlah kolom dan baris. Masing-masing kolom mewakili faktor-faktor dari percobaan yang dilakukan. *Orthogonal Array* ini memenuhi asumsi orthogonalitas, yaitu bahwa level dari masing-masing faktor adalah seimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam eksperimen.

(10) Memasukkan faktor dan atau interaksi ke dalam kolom

Taguchi menyediakan dua alat untuk membantu memasukkan faktor dan interaksi ke dalam kolom *array* yaitu *linear graph* dan *triangular tables*.

(11) Melakukan percobaan

Dalam eksperimen ini sejumlah percobaan (*trial*) disusun untuk meminimasi kesempatan terjadinya kesalahan dalam menyusun level yang tepat untuk percobaan. Prinsip randomisasi juga harus diperhatikan dalam masalah ini.

(12) Analisis hasil eksperimen

Dalam menganalisa hasil eksperimen dari Taguchi ini juga menggunakan metode ANOVA, yaitu perhitungan jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat terhadap rata-rata, jumlah kuadrat faktor, dan jumlah kuadrat *Error*.

(a) *Pooling Factor*

Suatu metode yang dianjurkan apabila faktor yang diamati ternyata tidak signifikan secara statistik setelah melalui uji signifikansi.

(b) Persen kontribusi

Bagian dari total variasi yang diamati pada eksperimen dari masing-masing faktor yang signifikan pada metode Taguchi dinyatakan dalam persen kontribusi. Persen kontribusi menandakan kekuatan relatif dari suatu faktor / interaksi untuk mereduksi variasi. Jika level faktor dan interaksi dikendalikan dengan cermat, maka total variasi akan berkurang sejumlah yang diindikasikan pada persen kontribusi.

(c) *Rasio Signal to Noise (S/N Ratio)*

Taguchi memperkenalkan pendekatan S/N untuk meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang timbul. Terdapat beberapa jenis rasio S/N tergantung pada karakteristik kualitas yang diinginkan, yaitu :

(i) *Larger the Better (LTB)* yaitu karakteristik kualitas dalam pengukurannya bahwa semakin tinggi nilainya, maka kualitasnya lebih baik

- (ii) *Nominal the Better* (NTB), biasanya ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, semakin mendekati nilai nominal tersebut, kualitas semakin baik
- (iii) *Smaller the Battered* (STB), meliputi pengukuran dimana akan semakin kecil nilainya, maka kualitasnya akan lebih baik.

(13) Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal.

Apabila percobaan terdiri dari banyak faktor, dan tiap-tiap faktor terdiri dari beberapa level, maka untuk menentukan kombinasi level yang optimal adalah membandingkan nilai perbedaan rata-rata eksperimen dari level yang ada.

(14) Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal

Setelah mendapatkan kondisi yang optimal dari eksperimen dengan *Orthogonal Array*, maka dapat diperkirakan rata-rata proses untuk prediksi pada kondisi yang optimal. Hal ini di dapat dengan menjumlahkan pengaruh dari ranking faktor yang lebih tinggi. Pengaruh dari faktor yang signifikan adalah pengaruhnya pada rata-rata percobaan.

j. Analisis of Varian (ANOVA)

Masalah paling kompleks yang sering dihadapi di dalam validitas untuk menentukan kualitas suatu produk atau proses dalam industri atau dalam menentukan kepresisian eksperimen adalah munculnya variasi. Karakteristik jaminan kualitas ataupun tingkat presisi selanjutnya diukur dari variansinya.

ANOVA pertama kali dikenalkan oleh Sir Ronald A. Fisher (1930) yang merupakan teknik statistika untuk merepresentasikan variasi hasil eksperimen. Analisis varian adalah teknik yang digunakan untuk memecahkan total variasi eksperimen ke dalam sumber-sumber yang diamati. Total variasi didekomposisi ke dalam komponen-komponen pembentuknya berupa faktor utama dan atau interaksi antar faktor.

Di dalam ANOVA, derajat bebas, jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat dan sebagainya dihitung dan diorganisasikan dalam format tabel standar. Pada ANOVA dua arah ini data eksperimen terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Beberapa formula yang digunakan di dalam ANOVA antara lain :

SS_T = jumlah kuadrat total

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] - CF \dots\dots\dots(15)$$

SS_A = Jumlah kuadrat faktor A

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{A_i^2}{n_A} \right) \right] - CF \dots\dots\dots(16)$$

SS_B = Jumlah kuadrat faktor B

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{B_i^2}{n_B} \right) \right] - CF \dots\dots\dots(17)$$

SS_{AXB} = Jumlah kuadrat interaksi antar faktor

$$SS_{AXB} = \left[\sum_{i=1}^c \left(\frac{AXB_i^2}{n_{AXB}} \right) - CF - SS_A - SS_B \right] \dots\dots\dots(18)$$

SSe = jumlah kuadrat kesalahan (*Error*)

$$SSe = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AXB} \dots\dots\dots(19)$$

MS_A = rata-rata jumlah kuadrat faktor A

$$MS_A = SS_A / V_A \dots\dots\dots(20)$$

MS_B = rata-rata jumlah kuadrat faktor B

$$MS_B = SS_B / V_B \dots\dots\dots(21)$$

MS_{AXB} = rata-rata jumlah kuadrat interaksi faktor AXB

$$MS_{AXB} = SS_{AXB} / V_{AXB} \dots\dots\dots(22)$$

MSe = rata-rata jumlah kuadrat kesalahan (*Error*)

$$Mse = SSe / Ve \dots\dots\dots(23)$$

T = jumlah seluruh pengamatan

$$T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij} \dots\dots\dots(24)$$

k_A = jumlah level faktor A

k_B = jumlah level faktor B

N = Jumlah kuadrat Eksperimen

N = $k \times n$

n_{Ai}, n_{Bj} = jumlah pengamatan (trial) faktor A dan faktor B

Model persamaan yang mewakili keadaan pengamatan adalah :

$$\bar{Y}_{ikr} = \mu + \alpha_i + \beta_k + \epsilon_{ikr} \dots\dots\dots(25)$$

dimana :

$i = 1, 2, 3, \dots, m$

$k = 1, 2, 3, \dots, n ; \epsilon_{ikr} \approx \text{IIDN}(0, \sigma^2)$

Untuk menguji perbedaan pengaruh taraf faktor didasarkan pada hipotesis awal yang menyatakan bahwa efek taraf faktor A adalah sama, sehingga hipotesisnya adalah :

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 \dots \dots = \alpha_m = 0$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } \alpha_i \neq 0$$

Dalam pengujian hipotesis, statistik uji yang digunakan adalah $F_{hitung} = MS_A / Mse$ kemudian dibandingkan dengan F tabel : $F_{\alpha}(V_A, V_e)$. Kesimpulan yang diperoleh adalah menolak H_0 apabila $F_{hitung} > F_{\alpha}(V_A, V_e)$ dan jika $F_{hitung} < F_{\alpha}(V_A, V_e)$, maka H_0 diterima.

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95%, maka uji hipotesis dapat ditentukan : P value > 5 %, maka H_0 ditolak.

2.2. Kajian Pustaka

Pemanfaatan *biomass* sebagai bahan bakar di Indonesia ternyata masih sangat kecil bila dibandingkan dengan negara lain. Riset menunjukkan pemanfaatan sekam padi sebagai briket ternyata kurang dari 10 % sedangkan di India pemanfaatan sekam padi menjadi bahan bakar mencapai 40 % (Werther, 2000).

Penelitian mengenai pembakaran antara jerami dan batu bara diteliti oleh Pedersen et al., (1996) yang dalam risetnya menghasilkan kesimpulan bahwa dengan pembakaran antara batu bara Kanada, emisi NO dan SO₂ dapat direduksi bila dibandingkan dengan pembakaran batu bara saja, juga didapatkan hasil terjadi penurunan kadar asap dan abu.

Naruse dkk. (1999) melakukan penelitian perilaku pembakaran dan kontrol emisi pada pembakaran biobriket. Hasil penelitian ini, biobriket memiliki temperatur penyalaan yang lebih rendah dan waktu pembakaran yang lebih singkat dari pada batu bara normal. Hasil pengujian pada tungku api biasa menunjukkan bahwa dari pembakaran briket, emisi partikulat yang dihasilkan rendah.

Dujambi (1999) meneliti laju pembakaran briket batu bara produksi PT. Bukit Asam dengan variasi pembakaran, seperti ukuran briket, laju aliran udara, temperatur dinding tungku dan temperatur *preheat*. Laju pembakaran naik jika laju aliran udara naik tetapi terdapat suatu kondisi optimum dimana laju pembakaran menurun dengan kenaikan lebih lanjut dari laju aliran udara, karena pengaruh dari pendinginan yang

terjadi secara konveksi. Laju pembakaran dipengaruhi temperatur dinding tungku, semakin besar ukuran partikel, maka laju pembakaran berkurang.

Sedangkan karakter pembakaran limbah pertanian pernah diteliti oleh Werther (2000), yang menyatakan antara lain, limbah pertanian banyak sekali mengandung *volatile* sehingga menyebabkan pembakaran dimulai pada temperatur rendah, disamping itu konsentrasi polutan tertinggi yaitu abu, dan sangat penting untuk menganalisa komposisi abu karena sangat mempengaruhi proses pembakaran itu sendiri. Butiran *biomass* yang kecil dan kering memberikan penyalaan yang stabil. Apabila limbah pertanian dibakar bersama-sama dengan batu bara, maka tidak ada efek negatif yang muncul, terutama dari segi emisi polutan.

Von Raczeck dalam Werther (2000) mengadakan percobaan pembakaran dengan bahan bakar berupa kulit kopi, serpihan kayu, dan batubara bituminous. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa proses devolatilisasi kulit kopi dan serpihan kayu mulai terjadi pada suhu 160⁰C hingga 200⁰C. Pada saat suhu mencapai 200⁰C proses devolatilisasi berlangsung cepat dan kehilangan massa yang signifikan, ketika suhu di atas 500⁰C massa cenderung konstan.

Hart, Ward and Biffes (2001) melakukan penelitian mengenai reaktivitas pembakaran dari briket multi komponen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa briket yang memiliki porositas yang lebih besar akan mengalami sedikit hambatan akan lajunya oksigen dan terjadinya pembakaran, artinya semakin porous maka bahan bakar semakin reaktif. Semakin halus ukuran partikel penyusun briket maka briket tersebut akan semakin reaktif.

Cai and Zygouraks (2003) melakukan penelitian tentang model transien untuk menentukan karakteristik pembakaran arang yang memiliki porositas yang tinggi, dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa porositas dan luasan area akan terkait dengan besarnya cavity yang akan mempengaruhi reaktivitas dan pembakaran partikel arang.

Biagini dan Tognotti (2004) melakukan penelitian mengenai pengaruh ukuran partikel dan variasi struktur kimia terhadap aspek dasar proses pembakaran bahan bakar biomassa dan batubara. Penelitian dilakukan dengan variasi laju pemanasan tungku pembakaran 5⁰C/menit, 10⁰C/menit, dan 20⁰C/menit untuk bahan bakar batubara (kadar volatil yang tinggi), batubara Chang Cun dengan kadar zat volatil rendah, limbah tanaman zaitun, limbah lumpur kertas, dan butiran batubara (10 % berat).

Saptoadi (2004) melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran briket dari serbuk gergajian dan lignit. Briket merupakan perpaduan komposisi antara serbuk gergajian dan lignit yaitu 100% lignit, 75% lignit 25% serbuk gergajian, 50% lignit 50% serbuk gergajian, 25% lignit 75% serbuk gergajian dan 100% serbuk gergajian. Temperatur dinding tungku setiap pembakaran diset pada 350 °C, massa briket sebesar 3 gram. Laju aliran udara yang digunakan 0,6 m/s, 0,8 m/s, 1,0 m/s dan 1,2 m/s.

Subroto dkk., (2008) menyatakan bahwa limbah pertanian (sekam padi dan jerami) potensial untuk diolah menjadi bahan bakar alternatif briket yaitu diolah bersama dengan batu bara. Hasil penelitian ini adalah briket dengan 60 % limbah pertanian 40 % batu bara dengan pengikat lem kayu sebesar 10 % berat yang ditekan dengan tekanan 300 kg/cm² dan dikeringkan pada temperatur 110 °C selama 90 menit. Briket ini memiliki kisaran temperatur pembakaran antara 300 °C sampai dengan 439 °C, dengan kadar abu yang dihasilkan sekitar 20 % serta memiliki kekuatan tekan 67,39 kg/cm² dan memiliki pengurangan massa 64 % pada 3 kali jatuhan. Komposisi abu hasil pembakaran terdiri atas N : 0,04 %, P : 2,5 % serta memiliki kadar K sebesar 0,33 %.

Peneliti juga telah melakukan penelitian yang dibiayai oleh Program Penelitian Dosen Muda, hasil penelitiannya menunjukkan bahawa limbah astiri daun cengkeh dapat dibuat briket yang memiliki kualitas sama dengan arang kayu. (Aklis, N dan Putro S, 2007). Dalam rangka membimbing Mahasiswa Tugas Akhir, peneliti telah banyak melakukan penelitian limbah pertanian antara lain: sekam padi, jerami, limbah garut, enceng gondok, limbah onggok untuk dijadikan briket. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa masing-masing limbah pertanian dapat dibuat briket yang memenuhi syarat bahan bakar, yaitu memiliki nilai kalor yang signifikan. Penelitian mengenai alat produksi briket telah dilakukan oleh peneliti bekerja sama dengan CV Kharisma dan Bappeda Klaten. Hasil penelitiannya terciptanya sebuah *Crusher* yang digunakan untuk mencacah limbah onggok dan limbah pertanian lain agar dapat digunakan sebagai bahan pembuat briket. (CV Kharisma Bappeda Klaten, 2005)

Rosariastuti dkk., (2005), Limbah industri pati aren dan limbah pertanian memiliki nilai kalor yang potensial untuk diolah menjadi bahan bakar, limbah tepung onggok memiliki nilai kalor 3821,83 kal/gram, sekam padi memiliki nilai kalor 3731,671 kal/gram, jerami memiliki nilai kalor 3752,237 kal/gram, briket batu bara sebagai bahan bakar alternatif pengganti kayu bakar memiliki nilai kalor 4.500kal/gram.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Kalor Beberapa Limbah Pertanian

Sifat	BatuBara Lignite	Arang Kayu	Limbah Pati Aren	Jerami	Sekam Padi	Ampas Tebu
Kadar air (%)	14,31	6,86	14,49	10,155	10,585	10,33
Kadar abu (%)	2,02	4,09	1,73	20,72	21,76	2,785
Fixed Carbon (%)	69,53	52,35	2,63	8,005	6,565	4,865
Volatile Matter (%)	14,14	36,69	81,15	61,12	61,09	82,02
Nilai kalor (kal/gr)	7101,093	7026,74	3821.83	3752,237	3731,671	4280,717

Yuwono dan **Musabbikhah** (2010), meneliti tentang optimasi kualitas biobriket. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengoptimalkan kekuatan tekan biobriket diperlukan setting parameter A2B1C2D1E2F2, artinya komposisi limbah jarak 58%, komposisi arang sekam 35%, komposisi larutan pati 17%, tekanan pengepressan 200kg/cm^2 , waktu penahanan 60 menit dan waktu pengeringan 3 hari. Kondisi optimum dipilih untuk setiap level yang memberikan nilai rata-rata rasio S/N tertinggi. Faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tekan biobriket adalah komposisi limbah jarak (A), komposisi arang sekam (B), komposisi larutan pati (C), tekanan pengepressan (D), waktu penahanan (E) dan waktu pengeringan (F), memberikan persen kontribusi masing-masing sebesar 17.811%, 17.213%, 11.461%, 6.025%, 31.92% dan 15.521% .

Musabbikhah, dkk (2011), meneliti tentang Rekayasa Tungku Pembakaran Genteng Berbahan Bakar Biocoal Optimal Guna Meningkatkan Produktivitas Genteng di Wiroko Wonogiri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi dan proses pembuatan briket biocoal terbaik dengan komposisi 60 % limbah pertanian – 40 % batubara (yang secara teoritis nilai kalornya mendekati nilai kalor kayu bakar), dimana limbah pertanian tersebut memiliki komposisi 50 % sekam padi – 50 % jerami dengan perekat lem kanji seberat 50 % dari berat bahan baku yang dikeringkan pada kondisi temperatur pengeringan $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (untuk menekan biaya produksi) selama 90 menit. Dengan satu catatan, kondisi ukuran partikel semua bahan penyusun adalah lolos ayakan dengan ukuran 20 mesh. Dengan kekuatan tekan sebesar 0,1123 MPa dan memiliki massa tersisa 78,5 % setelah 15 kali jatuhan. Briket terbaik hasil penelitian tersebut diatas mampu menghasilkan temperatur gas hasil pembakaran berkisar antara $303\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $451\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama rentang waktu 32 menit untuk pembakaran 10 gram sampel.