

## ABSTRAK

Peningkatan permintaan energi listrik yang pesat akan mendorong pemasangan transformator daya yang lebih banyak. Salah satu aspek yang tidak diinginkan dari pengoperasian transformator daya adalah munculnya *noise* yang melebihi ambang batas. Hal tersebut dapat terjadi apabila aspek *noise* tidak dipertimbangkan dalam perancangan transformator sejak awal. Salah satu permasalahan utama dari *noise* adalah adanya kesulitan mengkuantifikasi nilai *noise* yang akan dibangkitkan secara akurat. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan *noise* yang lebih akurat dan optimisasi perancangan transformator daya yang mempertimbangkan *noise* sejak awal.

Pemodelan *noise* dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode *multiple regression linear* (MLR) dan jaringan syarat tiruan (JST). Variabel masukan untuk pemodelan *no load noise* terdiri daya, kerapatan fluks maksimum dan faktor geometri inti. Faktor geometri merupakan perbandingan antara berat inti dengan perkalian antara luas penampang dan tinggi limb serta jumlah limbnya. Sedangkan variabel masukan untuk pemodelan *load noise* terdiri dari daya, impedansi dan faktor geometri dari belitan. Faktor geometri belitan merupakan perbandingan dari tinggi belitan terhadap diameter belitan dan berat belitannya. Selain 4 variabel input pada pemodelan *load noise*, juga dikembangkan model dengan mempertimbangkan komponen utama dari 18 variabel. Hasil komponen utama terpilih digunakan sebagai input untuk memodel *load noise* dengan metode MLR dan JST. Model *load noise* yang baik digunakan sebagai bagian optimisasi perancangan tranformer yang rendah *noise*.

Optimisasi dilakukan dengan menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO) untuk menentukan variabel optimisasinya. Variabel optimisasi terdiri dari 11 macam, yaitu kerapatan arus belitan tegangan rendah, kerapatan fluks magnetik maksimum, ketebalan konduktor belitan tegangan tinggi dan rendah, jumlah konduktor secara radial untuk belitan tegangan tinggi dan rendah, jumlah konduktor secara aksial untuk belitan tegangan tinggi dan rendah, jumlah belitan per disk untuk belitan tinggi dan rendah serta faktor K. Fungsi obyektif dari optimisasi terdiri dari meminimalkan *load noise*, meminimalkan berat inti dan meminimalkan berat belitan tegangan tinggi dan rendah. Beberapa variabel kekangan diterapkan antara lain impedansi, tinggi belitan tegangan tinggi dan rendah, lebar konduktor belitan tegangan tinggi dan rendah, kerapatan arus belitan tegangan tinggi, *no load noise*, dan batas atas dan batas masing masing variabel yang dioptimisasi. Variabel hasil optimisasi digunakan untuk merancang transformator daya secara analitis.

Hasil pemodelan *noise* menunjukkan bahwa model *load noise* dengan jaringan syarat tiruan memberikan hasil yang lebih baik dengan MSE dan  $R^2$  sebesar 0,271 dan 0,998. Sedangkan hasil optimisasi perancangan transformator dengan daya 80 MVA diperoleh nilai *load noise* dan *no load noise* sebesar 69,33 dB dan 69,32 dB dengan berat inti dan belitan sebesar 36.993 kg dan 7.684 kg. Variabel optimisasi kerapatan arus belitan tegangan rendah memiliki sensitivitas paling tinggi dibandingkan dengan variabel lainnya. Hasil optimisasi ini memberikan penurunan berat inti sebesar 2,12% dan berat belitan sebesar 47,46% sehingga terjadi penghematan dari biaya material utama sebesar 21,9%. Metode ini sangat membantu industri transformator daya untuk memperoleh desain transformator yang rendah *noise* dan biaya material yang lebih rendah.

Kata kunci: transformator daya, *noise*, optimisasi, perancangan

## ABSTRACTS

The increasing demand for electrical energy will encourage the installation of more power transformers. One of the undesirable aspects of operating a power transformer is the appearance of noise that exceeds the threshold level. It can happen if the design does not consider the noise aspect from the beginning. One of the problems with noise is the difficulty of accurately quantifying the value of noise that will be generated. In this research, more accurate noise modelling and optimization of power transformer design that considers noise from the start are conducted.

Several methods, such as multiple linear regression (MLR) and artificial neural networks (ANN), are used as approach noise modelling. Input variables for no load noise modelling consist of power, maximum flux density and core geometry factor. The geometry factor is the ratio of the core weight to the multiplication of the cross-sectional area with limb height and the number of limbs. In comparison, the input variables for load noise modelling consist of power, impedance and geometry factor of the winding. The winding geometry factor is the ratio of winding height to winding diameter and winding weight. In addition to the 4 input variables in the load noise modelling, a model was also developed taking into account the main component of 18 variables. The results of the selected principle components are used as input for modelling the load noise with the MLR dan ANN methods. The best load noise model is used as part of the optimization of low-noise transformer design.

Optimization is conducted using the particle swarm optimization (PSO) method to determine the optimization variables. The optimization variables consist of 11 items, such as low voltage winding current density, maximum magnetic flux density, conductor thickness of high and low voltage windings, number of conductors radially for high and low voltage windings, number of conductors axially for high and low voltage windings, number of turns per disk for high and low windings and K factor. The objective functions of the optimization consist of minimizing load noise, core weight and weight of high and low-voltage windings. Several constraint variables are applied, including impedance, the height of high and low voltage windings, conductor width of high and low voltage windings, the current density of high voltage windings, no load noise, and upper and lower limits of each optimized variable. The optimized variables are used to design the power transformer.

The noise modelling results show that the load noise model with an artificial neural network provides better results with MSE and R2 of 0.271 and 0.998. While the results of transformer design optimization with power of 80 MVA, obtained load noise and no load noise values of 69.33 dB and 69.32 dB with core and winding weights of 36,993 kg and 7,684 kg. The optimization variable for low voltage winding current density has the highest sensitivity compared to the other variables. The results of this optimization provide a decrease in core weight by 2.12% and winding weight by 47.46% resulting in a savings of 21,9% in main material costs. This method is helpful for the power transformer industry to obtain low-noise transformer designs and lower material costs.

**Keywords:** power transformer, noise, optimization, design