

## PERBANDINGAN PREDIKSI MASSA PARTIKEL SUB ATOM MENGUNAKAN TEORI UKUR KUANTUM DAN TEORI UKUR

Miftahul Fikri

Program Studi Teknologi Listrik, Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia

Email: [miftahul@itpln.ac.id](mailto:miftahul@itpln.ac.id)

### ABSTRACT

Since 1900 when Max Planck used the term quantum to observe black body radiation, quantum experiments have continued to evolve. In its development, quantum measure theory is a fundamental thing that is needed because it becomes the foundation in calculations and analyzes related to sub-atomic particles. As it is known that the measure theory is a theory of basic operations in mathematics that is used in everyday life such as algebraic operations, operations in real analysis, and the application of operations in various fields. Quantum measure theory is a generalization of measure theory that fulfills the properties of a countable additive to be a weakly countable additive. As a result, even in basic calculations it becomes irrelevant for sub-atomic particles if the measure theory is used. In this study, predictions/calculations of the mass of sub-atomic particles in the form of mesons and baryons were carried out using either quantum measure theory and measure theory. Prediction results show that with quantum measure theory, the average prediction accuracy of sub-atomic particle mass is 92.3%, while the measure theory is 48.17%. The accuracy result of 48.17% for the measure theory shows that this theory is not relevant if applied to quantum objects. The accuracy of 92.3% for quantum measure theory shows that this theory can be used to analyze further quantum objects such as analyzing nuclear energy, partial discharge phenomena, quantum computing and other sub-atomic phenomena.

**Keywords:** measure theory, quantum, quantum measure theory.

### ABSTRAK

Sejak tahun 1900 ketika Max Planck menggunakan istilah kuantum untuk mengamati radiasi benda hitam, eksperimen tentang kuantum terus berkembang. Dalam perkembangannya, teori ukur kuantum merupakan hal mendasar yang sangat dibutuhkan karena menjadi fondasi dalam perhitungan maupun analisis terkait partikel-partikel sub atom. Sebagaimana diketahui bahwa teori ukur merupakan teori operasi dasar di matematika yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti operasi aljabar, operasi pada analisis riil, dan penerapan operasi pada berbagai bidang. Teori ukur kuantum merupakan generalisasi teori ukur yang memenuhi sifat *countable additive* menjadi *weak countable additive*. Akibatnya dalam perhitungan yang mendasar sekalipun menjadi tidak relevan pada partikel sub atom jika digunakan teori ukur. Dalam penelitian ini, dilakukan prediksi/ perhitungan massa partikel sub atom berupa meson dan barion baik menggunakan teori ukur kuantum maupun menggunakan teori ukur. Hasil prediksi menunjukkan bahwa dengan teori ukur kuantum diperoleh rata-rata akurasi prediksi massa partikel sub atom sebesar 92.3%, sedangkan dengan teori ukur sebesar 48.17%. Hasil akurasi sebesar 48.17% untuk teori ukur menunjukkan bahwa teori ini tidak relevan jika diterapkan pada obyek kuantum. Adapun akurasi sebesar 92.3% untuk teori ukur kuantum menunjukkan teori ini dapat digunakan untuk menganalisis obyek kuantum lebih lanjut seperti menganalisis energi nuklir, fenomena *partial discharge*, *quantum computing*, serta fenomena sub atom lainnya.

**Kata kunci:** kuantum, teori ukur, teori ukur kuantum.

Dikirim: 04 Maret 2022; Diterima: 11 Juli 2022; Dipublikasikan: 30 September 2022

Cara sitasi: Fikri, M. (2022). Perbandingan prediksi massa partikel sub atom menggunakan teori ukur kuantum dan teori ukur. *Teorema: Teori dan Riset Matematika*, 7(2), 283-290. DOI: <http://dx.doi.org/10.25157/teorema.v7i2.7291>

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



## PENDAHULUAN

Sejak tahun 1900 ketika Max Planck menggunakan istilah kuantum untuk mengamati radiasi benda hitam ditemukan bahwa radiasi cahaya bukan berasal dari gelombang energi yang kontinu akan tetapi berasal dari kuantum-kuantum yang kecil yang dapat diukur (Wattimena, 2008; Marsh, 2018; ter Haar, 1967). Kemudian berkembang menjadi mekanika kuantum dan terus menarik minat para peneliti hingga sekarang. Albert Einstein misalnya, dalam eksperimennya yang dirangkum dan dikenal dengan teori relativitas khusus dan relativitas umum. Selanjutnya De Broglie menemukan dualisme gelombang, persamaan Schrodinger yang digunakan untuk mendapatkan fungsi gelombang dari suatu partikel yang diformulasikan dalam bentuk persamaan diferensial Parsial (Hund & Slater, 1975). Sejak tahun 1970an dikenal model standar fisika partikel yang mengkaji partikel dasar dan bagaimana mereka berinteraksi (Cottingham & Greenwood, 2007). Model ini masih terus dilakukan kajian mendalam hingga saat ini, seperti (Aad *et al.*, 2012; Azzi *et al.*, 2019; Helm, 2020). Meson dan barion merupakan dua istilah partikel komposit sub atom yang menarik untuk dilakukan kajian lebih lanjut karena interaksi antar partikelnya berupa gaya nuklir.

Eksperimen tentang kuantum terus berkembang, ketika memasuki tahun 1994, Sorkin memformulasikan secara matematis mekanika kuantum sebagai teori ukur kuantum. Sorkin menghubungkan kuantum dengan sifat aditif peluang pada ruang ukur yang selanjutnya memperlihatkan bahwa secara matematis, fisika klasik merupakan kasus khusus dari fisika kuantum. Hasil publikasi ini mengukuhkan fondasi untuk membuka tabir kuantum secara matematis (Sorkin, 1994).

Selain itu telah diketahui bahwa teori ukur merupakan teori operasi dasar di matematika yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti operasi dasar pada analisis riil, operasi dasar pada peluang, dan penerapan operasi dasar dibidang sains, teknik, ekonomi, keuangan dan lain sebagainya. Perbandingan antara teori ukur kuantum dan teori ukur pada obyek kuantum / partikel sub atom diperlukan untuk mengetahui kedua teori ukur yang lebih tepat untuk diterapkan pada partikel sub atom mengingat fenomena kuantum yang jauh berbeda karakteristiknya dari fenomena umum yang sudah dikenal (Gudder, 2010). Terlebih jika penerapan teori ukur ini diperoleh hasil akurat yang kurang baik.

Dalam penelitian sebelumnya, Gudder (Gudder, 2009; Gudder, 2010) membahas tentang teori ukur kuantum sebagai perumuman dari teori ukur yang memenuhi sifat *countable additive*, yang dikenal dengan *weak countable additive*, dan digunakan untuk memprediksi massa partikel komposit sub atom. Akan tetapi dalam penelitian ini tidak dilakukan perbandingan dengan prediksi menggunakan teori ukur, sehingga tidak terlihat hasil prediksi dari kedua teori ini. Oleh karena itu, pada penelitian ini yang sekaligus menjadi keterbaruannya ialah mengkaji perbandingan prediksi massa partikel sub atom baik meson maupun barion menggunakan teori ukur kuantum dan teori ukur.

### Definisi Aljabar- $\sigma$ (Bogachev, 2007; Jech, 2002)

Suatu aljabar sigma himpunan-himpunan adalah suatu koleksi  $\mathcal{S}$  dari subhimpunan-subhimpunan dari himpunan  $S$  yang diberikan sedemikian rupa sehingga

1.  $\emptyset, S \in \mathcal{S}$ ,
2. Jika  $X \in \mathcal{S}$  dan  $Y \in \mathcal{S}$ , maka  $X \cup Y \in \mathcal{S}$ ,
3. Jika  $X \in \mathcal{S}$ , maka  $S - X \in \mathcal{S}$ ,
4. Jika  $X_n \in \mathcal{S}$  untuk semua  $n$ , maka  $\bigcup_{n=0}^{\infty} X_n \in \mathcal{S}$ .

### Definisi Ruang Terukur dan Ukuran (Cinlar, 2011; Bogachev, 2007; Royden & Fitzpatrick, 2010)

Ruang terukur adalah sepasang  $(X, \mathcal{M})$ , di mana  $X$  adalah suatu himpunan dan  $\mathcal{M}$  adalah suatu aljabar- $\sigma$  dari himpunan bagian-himpunan bagian  $X$ . Ukuran  $\mu$  di dalam ruang terukur  $(X, \mathcal{M})$  adalah fungsi taknegatif  $\mu: \mathcal{M} \rightarrow [0, \infty]$  dimana  $\mu(\emptyset) = 0$  dan *countable additive*,

yaitu untuk sembarang koleksi himpunan terukur terhingga yang saling lepas  $\{E_k\}_{k=1}^{\infty}$  memenuhi,

$$\mu\left(\bigcup_{k=1}^{\infty} E_k\right) = \sum_{k=1}^{\infty} \mu(E_k).$$

### Definisi Ruang Ukur (Royden & Fitzpatrick, 2010)

Ruang ukur adalah rangkap tiga  $(X, \mathcal{M}, \mu)$ , di mana  $(X, \mathcal{M})$  adalah ruang terukur dan  $\mu$  adalah ukuran di dalam ruang terukur  $(X, \mathcal{M})$ .

### Definisi Ruang Ukur Kuantum (Gudder, 2009; Royden & Fitzpatrick, 2010)

Misalkan  $(X, \mathcal{M})$  merupakan ruang terukur. Suatu fungsi  $\mu: \mathcal{M} \rightarrow [0, \infty]$  adalah ukuran kuantum jika:

1. jika  $\lim \mu(A_i) = \mu(\bigcup A_i)$ , untuk setiap barisan naik  $A_i \in \mathcal{M}$  dan  $\lim \mu(B_i) = \mu(\bigcap B_i)$ , untuk setiap barisan turun  $B_i \in \mathcal{M}$  (kontinu),
2.  $\mu(A \sqcup B \sqcup C) = \mu(A \sqcup B) + \mu(B \sqcup C) - \mu(A) - \mu(B) - \mu(C)$  (grade-2 additive),
3.  $\mu(A) = 0 \rightarrow \mu(A \sqcup B) = \mu(B)$  dan  $\mu(A \sqcup B) = 0 \rightarrow \mu(A) = \mu(B)$  (regular)

### Teorema Grade-2 Additive (Gudder, 2010)

Jika  $\mu: \mathcal{M} \rightarrow [0, \infty]$  adalah grade-2 additive, maka untuk sembarang  $n \geq 3$

$$\mu\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i < j=1}^n \mu(A_i \sqcup A_j) - (n-2) \sum_{i=1}^n \mu(A_i).$$

### Bukti.

Akan dibuktikan menggunakan induksi. Andaikan terbukti untuk  $n = 3$ , maka

$$\begin{aligned} \mu\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) &= \mu(A_1 \sqcup \dots \sqcup (A_{n-1} \sqcup A_n)) \\ &= \sum_{i < j=1}^{n-2} \mu(A_i \sqcup A_j) + \sum_{i=1}^{n-2} \mu(A_i \sqcup (A_{n-1} \sqcup A_n)) - (n-3) \left( \sum_{i=1}^{n-2} \mu(A_i) + \mu(A_{n-1} \sqcup A_n) \right) \\ &= \sum_{i < j=1}^{n-2} \mu(A_i \sqcup A_j) + \sum_{i=1}^{n-2} \mu(A_i \sqcup A_{n-1}) + \sum_{i=1}^{n-2} \mu(A_i \sqcup A_n) + (n-2) \mu(A_{n-1} \sqcup A_n) \\ &\quad - \sum_{i=1}^{n-2} \mu(A_i) - (n-2) \mu(A_{n-1}) - (n-2) \mu(A_n) \\ &\quad - (n-3) \left( \sum_{i=1}^{n-2} \mu(A_i) + \mu(A_{n-1} \sqcup A_n) \right) \\ &= \sum_{i < j=1}^n \mu(A_i \sqcup A_j) - (n-2) \sum_{i=1}^n \mu(A_i). \end{aligned}$$

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan merujuk perhitungan ukuran kuantum dalam penelitian (Gudder, 2009; Gudder, 2010) dengan data pada penelitian (Beringer & *et al* (Particle Data Group), 2012). Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur tentang Ukuran kuantum, ukuran dan data-data pada fenomena fisika kuantum.
2. Melakukan kajian tentang ukuran kuantum seperti definisi dan sifat-sifatnya.
3. Membandingkan perbedaan metode perhitungan pada ukuran kuantum dan ukuran.
4. Membandingkan prediksi massa partikel subatom menggunakan ukuran kuantum dan ukuran.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Misalkan partikel-partikel sub atom disimbolkan sebagai berikut: quark ( $q$ ), strange quark ( $q_s$ ), gluon ( $g$ ), serta diasumsikan ada virtual gluon ( $g'$ ) yang merupakan partikel tak bermassa dan hanya berinteraksi dengan gluon. Diketahui estimasi massa/energi partikel sub atom (dalam MeV) sebagai berikut:

$$\mu(g) = 97, \quad \mu(q) = 121, \quad \mu(q_s) = 646, \quad \mu(\{q, q\}) = 156, \quad \mu(\{g, g\}) = 187, \\ \mu(\{q, g\}) = 256, \quad \mu(\{q_s, g\}) = 493, \quad \mu(\{q_s, q\}) = 1297, \quad \mu(\{q_s, q_s\}) = 2550.$$

Serta diasumsikan sebagai berikut:

$$\mu(g') = 0, \quad \mu(\{q, g'\}) = 0, \quad \mu(\{q_s, g'\}) = 0, \quad \mu(\{g, g'\}) = \mu(\{g, g\}),$$

dan  $n - g$  merupakan partikel  $g$  sebanyak  $n$  buah untuk  $n$  bilangan bulat positif.

Selanjutnya, Teorema Grade-2 Additive, digunakan untuk memprediksi massa/energi partikel meson maupun barion sebagai berikut:

### 1. Prediksi Massa Meson

1. Prediksi massa  $\{q, q, g, g'\}$  sebagai berikut,

menggunakan teori ukur kuantum:

$$\begin{aligned} \mu(\{q, q, g, g'\}) &= \mu(\{q, q\}) + \mu(\{q, g\}) + \mu(\{q, g'\}) + \mu(\{q, g\}) + \mu(\{q, g'\}) \\ &\quad + \mu(\{g, g'\}) - 2\mu(\{q\}) - 2\mu(\{q\}) - 2\mu(\{g\}) - 2\mu(\{g'\}) \\ &= \mu(\{q, q\}) + 2\mu(\{q, g\}) + 0 + 0 + \mu(\{g, g\}) - 4\mu(\{q\}) \\ &\quad - 2\mu(\{g\}) \\ &\quad - 0 \\ &= 156 + 2(256) + 187 - 4(121) - 2(97) \\ &= 177, \end{aligned}$$

menggunakan teori ukur:

$$\begin{aligned} v(\{q, q, g, g'\}) &= \mu(\{q\}) + \mu(\{q\}) + \mu(\{g\}) + \mu(\{g'\}) \\ &= 121 + 121 + 97 + 0 \\ &= 339. \end{aligned}$$

Sedangkan hasil eksperimen adalah sebesar 140.

2. Prediksi massa  $\{q, q_s, g, g'\}$  sebagai berikut,

menggunakan teori ukur kuantum:

$$\begin{aligned} \mu(\{q, q_s, g, g'\}) &= \mu(\{q, q_s\}) + \mu(\{q, g\}) + \mu(\{q, g'\}) + \mu(\{q_s, g\}) + \mu(\{q_s, g'\}) \\ &\quad + \mu(\{g, g'\}) - 2\mu(\{q\}) - 2\mu(\{q_s\}) - 2\mu(\{g\}) - 2\mu(\{g'\}) \\ &= \mu(\{q, q_s\}) + \mu(\{q, g\}) + 0 + \mu(\{q_s, g\}) + 0 + \mu(\{g, g\}) \\ &\quad - 2\mu(\{q\}) - 2\mu(\{q_s\}) - 2\mu(\{g\}) - 0 \\ &= 1297 + 256 + 493 + 187 - 2(121) - 2(646) - 2(97) \\ &= 505, \end{aligned}$$

menggunakan teori ukur:

$$\begin{aligned} v(\{q, q_s, g, g'\}) &= \mu(\{q\}) + \mu(\{q_s\}) + \mu(\{g\}) + \mu(\{g'\}) \\ &= 121 + 646 + 97 + 0 \\ &= 864. \end{aligned}$$

Sedangkan hasil eksperimen adalah sebesar 494.

3. Prediksi massa  $\{q_s, q_s, g, g'\}$  sebagai berikut,

menggunakan teori ukur kuantum:

$$\begin{aligned} \mu(\{q_s, q_s, g, g'\}) &= \mu(\{q_s, q_s\}) + \mu(\{q_s, g\}) + \mu(\{q_s, g'\}) + \mu(\{q_s, g\}) \\ &\quad + \mu(\{q_s, g'\}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +\mu(\{g, g'\}) - 2\mu(\{q_s\}) - 2\mu(\{q_s\}) - 2\mu(\{g\}) - 2\mu(\{g'\}) \\
& = \mu(\{q_s, q_s\}) + 2\mu(\{q_s, g\}) + 0 + 0 + \mu(\{g, g\}) - 4\mu(\{q_s\}) \\
& \quad - 2\mu(\{g\}) \\
& = 2550 + 2(493) + 187 - 4(646) - 2(97) \\
& = 945,
\end{aligned}$$

menggunakan teori ukur:

$$\begin{aligned}
v(\{q_s, q_s, g, g'\}) & = \mu(\{q_s\}) + \mu(\{q_s\}) + \mu(\{g\}) + \mu(\{g'\}) \\
& = 646 + 646 + 97 \\
& = 1389.
\end{aligned}$$

Sedangkan hasil eksperimen adalah sebesar 958.

4. Prediksi massa  $\{q, q_s, 3 - g\}$  sebagai berikut,

menggunakan teori ukur kuantum:

$$\begin{aligned}
\mu(\{q, q_s, 3 - g\}) & \\
& = \mu(\{q_s, q\}) + 3\mu(\{q_s, g\}) + 3\mu(\{q, g\}) + 3\mu(\{g, g\}) \\
& \quad - 3\mu(\{q_s\}) \\
& \quad - 3\mu(\{q\}) - 9\mu(\{g\}) \\
& = 1297 + 3(493) + 3(256) + 3(187) - 3(646) - 3(121) \\
& \quad - 9(97) \\
& = 931,
\end{aligned}$$

menggunakan teori ukur:

$$\begin{aligned}
v(\{q, q_s, 3 - g\}) & = \mu(\{q\}) + \mu(\{q_s\}) + 3\mu(\{g\}) \\
& = 121 + 646 + 3(97) \\
& = 1058.
\end{aligned}$$

Sedangkan hasil eksperimen adalah sebesar 892.

## 2. Prediksi Massa Barion

1. Prediksi massa  $\{q, q, q, 6 - g\}$  sebagai berikut,

menggunakan teori ukur kuantum:

$$\begin{aligned}
\mu(\{q, q, q, 6 - g\}) & \\
& = \mu(\{q, q\}) + 18\mu(\{q, g\}) + 15\mu(\{g, g\}) - 21\mu(\{q\}) \\
& \quad - 42\mu(\{g\}) \\
& = 156 + 18(256) + 15(187) - 21(121) - 42(97) \\
& = 954,
\end{aligned}$$

menggunakan teori ukur:

$$\begin{aligned}
v(\{q, q, q, 6 - g\}) & = 3\mu(\{q\}) + 6\mu(\{g\}) \\
& = 3(121) + 6(97) \\
& = 945,
\end{aligned}$$

Sedangkan hasil eksperimen adalah sebesar 940.

2. Prediksi massa  $\{q, q, q_s, 6 - g\}$  sebagai berikut,

menggunakan teori ukur kuantum:

$$\begin{aligned}
\mu(\{q, q, q_s, 6 - g\}) & = \mu(\{q, q\}) + 2\mu(\{q_s, q\}) + 6\mu(\{q_s, g\}) + 12\mu(\{q, g\}) \\
& \quad + 15\mu(\{g, g\}) - 7\mu(\{q_s\}) - 14\mu(\{q\}) - 42\mu(\{g\}) \\
& = 156 + 2(1297) + 6(493) + 12(256) + 15(187) \\
& \quad - 7(646) - 14(121) - 42(97) \\
& = 1295,
\end{aligned}$$

menggunakan teori ukur:

$$v(\{q, q, q_s, 6 - g\}) = 2\mu(\{q\}) + \mu(\{q_s\}) + 6\mu(\{g\})$$

$$= 2(121) + (646) + 6(97)$$

$$= 1470,$$

Sedangkan hasil eksperimen adalah sebesar 1116.

3. Prediksi massa sebagai berikut  $\{q, q_s, q_s, 6 - g\}$ ,  
menggunakan teori ukur kuantum:

$$\begin{aligned} \mu(\{q, q_s, q_s, 6 - g\}) &= \mu(\{q_s, q_s\}) + 2\mu(\{q_s, q\}) + 12\mu(\{q_s, g\}) + 6\mu(\{q, g\}) \\ &\quad + 15\mu(\{g, g\}) - 14\mu(\{q_s\}) - 7\mu(\{q\}) - 42\mu(\{g\}) \\ &= 2550 + 2(1297) + 12(493) + 6(256) + 15(187) \\ &\quad - 14(646) \\ &\quad - 7(121) - 42(97) \\ &= 1436, \end{aligned}$$

menggunakan teori ukur:

$$\begin{aligned} v(\{q, q_s, q_s, 6 - g\}) &= \mu(\{q\}) + 2\mu(\{q_s\}) + 6\mu(\{g\}) \\ &= 121 + 2(646) + 6(97) \\ &= 1995, \end{aligned}$$

Sedangkan hasil eksperimen adalah sebesar 1321.

4. Prediksi massa  $\{q_s, q_s, q_s, 6 - g\}$  sebagai berikut  
menggunakan teori ukur kuantum:

$$\begin{aligned} \mu(\{q_s, q_s, q_s, 6 - g\}) &= 3\mu(\{q_s, q_s\}) + 18\mu(\{q_s, g\}) + 15\mu(\{g, g\}) \\ &\quad - 21\mu(\{q_s\}) - 42\mu(\{g\}) \\ &= 3(2550) + 18(493) + 15(187) - 21(646) - 42(97) \\ &= 1689, \end{aligned}$$

menggunakan teori ukur:

$$\begin{aligned} v(\{q_s, q_s, q_s, 6 - g\}) &= 3\mu(\{q_s\}) + 6\mu(\{g\}) \\ &= 3(646) + 6(97) \\ &= 2520. \end{aligned}$$

Sedangkan hasil eksperimen adalah sebesar 1672.

Hasil perhitungan yang telah dipaparkan, dirangkum dan disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

**Tabel 1.** Prediksi massa Meson

No.	Partikel	Teori Ukur		Eksperimen	Teori Ukur Kuantum	
		Ukuran	Error		Ukuran	Error
1	$\{q, q, g, g'\}$	339	142.14%	140	177	26.43%
2	$\{q, q_s, g, g'\}$	864	74.9%	494	505	2.23%
3	$\{q_s, q_s, g, g'\}$	1389	44.99%	958	945	1.36%
4	$\{q, q_s, 3 - g\}$	1058	18.61%	892	931	4.37%
	Rata-rata		70.16%			8.6%



**Tabel 2.** Prediksi massa Barion

No.	Partikel	Teori Ukur		Eksperimen	Teori Ukur Kuantum	
		Ukuran	Eror		Ukuran	Eror
1	$q, q, q, 6 - g$	945	0.53%	940	954	1.49%
2	$q, q, q_s, 6 - g$	1470	31.72%	1116	1295	16.04%
3	$q, q_s, q_s, 6 - g$	1995	51.02%	1321	1436	8.71%
4	$q_s, q_s, q_s, 6 - g$	2520	50.72%	1672	1689	1.02%
	Rata-rata		33.5%			6.81%

Pada penelitian sebelumnya (Gudder, 2010) tidak dilakukan perbandingan kedua teori ukur ini sehingga tidak terlihat secara langsung perbandingan keduanya. Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa akurasi prediksi massa partikel sub atom dengan teori ukur kuantum untuk meson sebesar 91.4% dan sebesar 93.19% untuk barion (rata-rata 92.3%). Sedangkan dengan teori ukur diperoleh akurasi partikel untuk meson hanya sebesar 29.84% dan sebesar 66.5% untuk barion (rata-rata 48.17%). Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun teori ukur telah digunakan pada banyak bidang dalam kehidupan sehari-hari tetapi penerapan pada partikel sub atom kurang relevan khususnya meson dan barion dikarenakan rata-rata akurasi yang diperoleh kurang dari 50%. Sedangkan penerapan teori ukur kuantum pada partikel sub atom khususnya meson dan barion sangat relevan dikarenakan rata-rata akurasi yang diperoleh lebih dari 90%.

## KESIMPULAN

Meson dan barion merupakan dua partikel komposit sub atom yang interaksi antar partikelnya berupa gaya nuklir. Prediksi masa partikel ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk kajian pada energi nuklir. Adapun rata-rata hasil prediksi massa meson dan barion menggunakan teori ukur kuantum diperoleh akurasi sebesar 92.3%, sedangkan dengan teori ukur sebesar 48.17%. Hasil ini menunjukkan teori ukur tidak relevan untuk diterapkan pada partikel sub atom khususnya meson dan barion, sedangkan teori ukur kuantum sangat relevan.

## REKOMENDASI

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk penelitian berikutnya yaitu penerapan teori ukur kuantum untuk memprediksi atau menganalisis energi nuklir, *partial discharge*, *quantum computing*, ataupun obyek kuantum lainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Institut Teknologi PLN yang kontinu mengadakan kegiatan Review, Pelatihan ataupun *Coaching Clinic* khususnya terkait dengan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aad, G., Abajyan, T., Abbott, B., Abdallah, J., Abdel Khalek, S., Abdelalim, A. A., ... Zwahlen, L. (2012). Observation of a new particle in the search for the standard model higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. *Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics*, 716(1), 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2012.08.020>
- Azzi, P., Farry, S., Nason, P., & Tricoli, A. (2019). *Standard model physics at the HL-LHC and HE-LHC*. Monograph, 7.
- Beringer, J., & et. al (Particle Data Group). (2012). Review of particle physics \* particle data group.

*Physical Review D*, 86(1), 1–1526. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.86.010001>

Bogachev, V. I. (2007). *measure theory: volume i*. Berlin: Springer.

Cinlar, E. (2011). *Probability and stochastics*. New York: Springer.

Cottingham, W. N., & Greenwood, D. A. (2007). *An introduction to the standard model of particle physic*. Cambridge: Cambridge University Press.

Gudder, S. (2009). Quantum measure and integration theory. *Journal of Mathematical Physics*, 50, 1–18. <https://doi.org/10.1063/1.3267867>

Gudder, S. (2010). Quantum measure theory. *Mathematica Slovaca*, 60(5), 681–700. <https://doi.org/10.2478/s12175-010-0040-8>

Helm, J. (2020). *Standard model of particle physics iii calculation of particle decay times*. (March). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18943.15528>

Hund, F., & Slater, J. C. (1975). The history of quantum theory. *Physics Today*, 28(8), 69–70. <https://doi.org/10.1063/1.3069136>

Jech, T. (2002). *Set Theory*. In *Springer*. Berlin: Springer.

Marsh, G. E. (2018). *An introduction to the standard model of particle physics*. 5 Toh Tuck Link: World Scientific.

Royden., H. L., & Fitzpatrick, P. M. (2010). *Real analysis*. Boston: Prentice Hall.

Sorkin, R. D. (1994). Quantum mechanics as quantum measure theory. *Modern Physics Letters A*, 9(33), 3119–3127.

ter Haar, D. (1967). On the theory of the energy distribution law law of the normal spectrum. *The Old Quantum Theory*, 237(1900), 82.

Wattimena, R. A. A. (2008). *Philosophy and Science*. Jakarta: Grasindo.